

PCT

世界知的所有権機関  
国際事務局  
特許協力条約に基づいて公開された国際出願



<p>(51) 国際特許分類6 H02N 2/00</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/38309</p> <p>(43) 国際公開日 2000年6月29日(29.06.00)</p>															
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/04877</p> <p>(22) 国際出願日 1999年9月8日(08.09.99)</p> <p>(30) 優先権データ</p> <table border="0"> <tr> <td>特願平10/363543</td> <td>1998年12月21日(21.12.98)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平10/363546</td> <td>1998年12月21日(21.12.98)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平10/363550</td> <td>1998年12月21日(21.12.98)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平11/69158</td> <td>1999年3月15日(15.03.99)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平11/250225</td> <td>1999年9月3日(03.09.99)</td> <td>JP</td> </tr> </table> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) セイコーエプソン株式会社 (SEIKO EPSON CORPORATION)[JP/JP] 〒163-0811 東京都新宿区西新宿二丁目4番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 宮澤 修(MIYAZAWA, Osamu)[JP/JP] 橋本泰治(HASHIMOTO, Yasuharu)[JP/JP] 船坂 司(FUNASAKA, Tsukasa)[JP/JP] 古畑 誠(FURUHATA, Makoto)[JP/JP] 〒392-8502 長野県諏訪市大和三丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内 Nagano, (JP)</p>		特願平10/363543	1998年12月21日(21.12.98)	JP	特願平10/363546	1998年12月21日(21.12.98)	JP	特願平10/363550	1998年12月21日(21.12.98)	JP	特願平11/69158	1999年3月15日(15.03.99)	JP	特願平11/250225	1999年9月3日(03.09.99)	JP	<p>(74) 代理人 川崎研二(KAWASAKI, Kenji) 〒103-0027 東京都中央区日本橋三丁目2番16号 八重洲マシヤビル5階 朝日特許事務所 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CN, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
特願平10/363543	1998年12月21日(21.12.98)	JP															
特願平10/363546	1998年12月21日(21.12.98)	JP															
特願平10/363550	1998年12月21日(21.12.98)	JP															
特願平11/69158	1999年3月15日(15.03.99)	JP															
特願平11/250225	1999年9月3日(03.09.99)	JP															
<p>(54)Title: PIEZOELECTRIC ACTUATOR, TIME PIECE, AND PORTABLE DEVICE</p> <p>(54)発明の名称 圧電アクチュエータ、時計および携帯機器</p> <div data-bbox="522 1241 1023 1663"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>A vibration board (10) composed of a rectangular laminate of a piezoelectric element and a reinforcement member is supported on a base by means of a support (11). The support (11) elastically urges the vibration board toward a rotor (100) so that a projection (36) provided on the vibration board (10) may come into contact with the periphery of the rotor (100). When the vibration board (10) is vibrated to the right and left by the application of voltage from a driver circuit (not shown), the rotor (100) rotates clockwise with the displacement of the projection (36).</p>																	

**THIS PAGE BLANK (USPTO**

(57)要約

圧電素子と補強板とが積層された長方形板状の振動板 10 は、支持部材 11 によって地板に支持されるとともに、支持部材 11 の弾性力によってローター 100 側に付勢されている。これにより、振動板 10 に設けられた突起部 36 がローター 100 の外周面に当接させられている。この構成の下、図示せぬ駆動回路からの印加電圧によって、図中左右方向に振動板 10 が振動すると、この振動による突起部 36 の変位に伴ってローター 100 が時計回りに回転させられる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	JP	日本	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CZ	チェッコ	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
DE	ドイツ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DK	デンマーク	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
		KR	韓国	RO	ルーマニア		

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## 明 細 書

## 圧電アクチュエータ、時計および携帯機器

## 5 技術分野

本発明は、圧電アクチュエータ、ならびにこの圧電アクチュエータを備える時計および携帯機器に関する。

## 10 技術背景

圧電素子は、電気エネルギーから機械エネルギーへの変換効率や、応答性に優れていることから、近年、圧電素子の圧電効果を利用した各種の圧電アクチュエータが開発されている。この圧電アクチュエータは、圧電プザー、プリンタのインクジェットヘッド、あるいは超音波モータなどの分野に応用されている。

図61は、従来の圧電アクチュエータを用いた超音波モータを模式的に示す平面図である。同図に示すように、この種の超音波モータは、つつつき型と呼ばれるものであって、圧電素子に結合した振動片の先端に、ロータ面を少し傾斜させて接触させてある。このような構成の下、発振部からの交流電圧によって圧電素子が伸縮し、振動片が長さ方向に往復運動すると、ロータの円周方向に分力が発生してロータが回転するようになっている。

また、2個の超音波振動子（圧電素子）を備え、各超音波振動子をそれ自身の電氣的な共振周波数で振動させ、この振動により振動片を変位させる技術が知られている（特開平10-225151号公報）。

しかしながら、圧電素子の変位は印加電圧にもよるが微小であり、サブミクロン程度であるのが通常であり、上述した共振周波数で振動させる場合でも同様である。このため、なんらかの増幅機構によって変位を増幅してロータに伝達することが行われている。しかし、増幅機構を用いた場合、それ自身を動かすためにエネルギーが消費され、効率が低下するといった問題があるとともに、装置のサ

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

イズが大きくなってしまふといった問題もある。また、増幅機構を介する場合、安定したロータへの駆動力の伝達が困難となることもある。

また、腕時計のような小型の携帯機器は電池で駆動されるため、消費電力や駆動電圧を低く抑える必要がある。したがって、そのような携帯機器に圧電アクチュエータを組み込む場合には、特に、そのエネルギー効率が高く、駆動電圧が低いことが要求される。

ところで、時計などにおいて、日や曜などを表示するカレンダー表示機構では、電磁式のステップモータの回転駆動力を運針用の輪列を介して日車などにも間欠的に伝達し、日車を送り駆動するのが一般的である。一方、腕時計は手首にベルトを巻き付けて携帯するものであるから、携帯に便利のように薄型化の要求が古くからある。薄型化を追求するには、カレンダー表示機構の厚さを薄くすること  
10 にも必要となる。しかし、ステップモータはコイルやロータといった部品を面外方向に組み込んで構成されるので、その厚さを薄くするには限界がある。このため、ステップモータを用いた従来のカレンダー機構は、構造的に薄型化には向かない  
15 という問題があった。

特に、カレンダー表示機構のある時計と、係る機構のない時計との間で運針の機械系（いわゆるムーブメント）を共通化するためには、カレンダー表示機構を文字板側に構成する必要があるが、電磁式のステップモータでは文字板側に構成できる程の薄型化が困難である。したがって、従来の時計は、表示機構の有無によって運針の機械系を別々に設計して製造する必要があり、その生産性を向上させる際の問題となっていた。

本発明は、上記の事情を考慮してなされたものであり、導通構成を簡易化することにより、小型化を容易にした圧電アクチュエータ、およびこれを備える時計、携帯機器を提供することを目的とする。また、圧電素子の振動を効率よく伝達するとともに、小型・薄型化に適しており、かつ駆動力を安定して伝達できる圧電アクチュエータ、ならびにこれを備えた時計および携帯機器を提供することを目的とする。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による

5 前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前

10 記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手

15 方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記

20 圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、

25 前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部と当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記圧電素子が前記振動板の長手方向に

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、  
5 前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性体から形成されており、前記圧電素子が  
10 前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記振動板の属  
15 する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備し  
20 ており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前記縦振動時と逆方向に駆動することを特徴とする。

25 また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向に駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前記縦振動時と逆方向に駆動することを特徴とする。

- また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面外の方に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

- また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面外の方に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記

**THIS PAGE BLANK (USE)**

振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択さ

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

れた場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部に当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、支持体と、長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性体から形成されており、前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動することを特徴とする。

また、別の観点から本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、前記圧電素子の上下に積層され、導体から形成される補強部を備え、前記補強部を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

10 また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、支持体と、導電体から形成され、前記圧電素子を前記支持体に支持する支持部材とを備え、前記支持部材を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

15 また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、前記圧電素子の上下面にそれぞれ接触して前記圧電素子を挟み込む弾性導電体を備え、前記弾性導電体を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

20 また、別の態様として、本発明に係る圧電アクチュエータは、圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、前記圧電素子の周囲に接触しながら巻き付けられる導線を備え、前記導線を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴としている。

また、本発明に係る時計は、上記いずれかの態様の圧電アクチュエータと、前記圧電アクチュエータによって回転駆動されるリング状のカレンダー表示車とを具備することを特徴としている。

また、本発明に係る携帯機器は、上記いずれかの態様の圧電アクチュエータと、前記圧電アクチュエータに電力を供給する電池とを具備することを特徴としている。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## 図面の簡単な説明

- 図 1 は本発明の第 1 実施形態に係る時計において、圧電アクチュエータを組み  
5 込んだカレンダー表示機構の主要構成を示す平面図である。
- 図 2 は同実施形態に係る時計の概略構成を示す側断面図である。
- 図 3 は前記圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。
- 図 4 は前記圧電アクチュエータの構成要素であるローターと突起部との断面的  
な接触状態を説明するための図である。
- 10 図 5 は前記圧電アクチュエータの前記ローターと前記突起部との断面的な接触  
状態の他の例を説明するための図である。
- 図 6 は前記圧電アクチュエータの構成要素である振動板を示す側断面図である。
- 図 7 は前記振動板が縦振動する様子を示す図である。
- 図 8 は前記振動板の圧電素子に電力を供給する構成の概略を示すブロック図で  
15 ある。
- 図 9 は前記振動板の圧電素子に電力を供給する他の構成の概略を示すブロック  
図である。
- 図 10 は前記振動板が振動した場合に、前記ローターからの反力によって屈曲  
振動する様子を説明するための図である。
- 20 図 11 は前記屈曲振動時における前記突起部の軌道を説明するための図である。
- 図 12 は前記振動板の振動周波数とインピーダンスとの関係の一例を示すグラ  
フである。
- 図 13 は前記振動板の振動時における振幅を説明するための図である。
- 図 14 は前記ローターが逆回転しようとした場合の、前記振動板の動作を説明  
25 するための図である。
- 図 15 は前記振動板を回動自在に支持する支持部材の回動中心の位置を説明す  
るための図である。
- 図 16 は前記振動板を回動自在に支持する支持部材の回動中心の位置の他の例  
を説明するための図である。

THIS PAGE BLANK (11/18/70)

図 1 7 は前記カレンダー表示機構の主要構成を示す側断面図である。

図 1 8 は前記カレンダー表示機構の駆動回路の構成を示すブロック図である。

図 1 9 は前記駆動回路の動作を示すタイミングチャートである。

図 2 0 は前記圧電アクチュエータの第 1 の変形態様を示す平面図である。

- 5 図 2 1 は前記圧電アクチュエータの第 2 の変形態様の振動板を示す側断面図である。

図 2 2 は前記圧電アクチュエータの第 2 の変形態様の振動板の他の例を示す平面図である。

図 2 3 は前記圧電アクチュエータの第 3 の変形態様を示す平面図である。

- 10 図 2 4 は前記圧電アクチュエータの第 3 の変形態様の振動板の他の例を示す平面図である。

図 2 5 は前記圧電アクチュエータの第 3 の変形態様の振動板のさらに他の例を示す平面図である。

- 15 図 2 6 は前記圧電アクチュエータの第 3 の変形態様の振動板のさらにその他の例を示す図である。

図 2 7 は前記圧電アクチュエータの第 3 の変形態様の振動板のまたさらにその他の例を示す図である。

図 2 8 は前記圧電アクチュエータの第 4 の変形態様を示す平面図である。

図 2 9 は前記第 4 の変形態様の振動板の製造方法を説明するための図である。

- 20 図 3 0 は前記圧電アクチュエータの第 4 の変形態様の他の例を示す平面図である。

図 3 1 は前記圧電アクチュエータの第 5 の変形態様を示す平面図である。

図 3 2 は前記圧電アクチュエータの第 6 の変形態様を示す平面図である。

- 25 図 3 3 は前記圧電アクチュエータの第 6 の変形態様の支持部材の振幅を説明するための図である。

図 3 4 は前記圧電アクチュエータの第 6 の変形態様の他の例を示す平面図である。

図 3 5 は前記圧電アクチュエータの第 7 の変形態様を示す平面図である。

図 3 6 は前記圧電アクチュエータの第 7 の変形態様の振動板を回動自在に支持

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

する支持部材の回動中心の位置を説明するための図である。

図 3 7 は前記第 7 の変形態様において、前記ローターが逆回転しようとした場合の、前記振動板の動作を説明するための図である。

5 図 3 8 は前記圧電アクチュエータの第 7 の変形態様の他の例を示す平面図である。

図 3 9 は前記圧電アクチュエータの第 7 の変形態様のさらに他の変形例を示す平面図である。

図 4 0 は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成を示す図である。

10 図 4 1 は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成の変形例を示す図である。

図 4 2 は前記導通構成の変形例を示す側面図である。

図 4 3 は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成の他の変形例を示す図である。

15 図 4 4 は前記圧電アクチュエータに駆動電圧を供給する導通構成のさらに他の変形例を示す図である。

図 4 5 は前記導通構成のさらに他の変形例を示す側面図である。

図 4 6 は本発明の第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

20 図 4 7 は第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータの構成要素である振動板を示す側面図である。

図 4 8 は第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板を示す平面図である。

25 図 4 9 は第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板の圧電素子に電力を供給する構成を示す図である。

図 5 0 は第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板が縦振動する様子と、前記振動板が屈曲振動する様子を示す図である。

図 5 1 は第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板が縦振動したときのローターの駆動方向を説明するための図である。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



図 5 2 は第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータの前記振動板が屈曲振動したときのローターの駆動方向を説明するための図である。

図 5 3 は本発明の第 3 実施形態に係る圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

5 図 5 4 は第 3 実施形態に係る圧電アクチュエータの変形例を示す平面図である。

図 5 5 は本発明の第 4 実施形態に係る圧電アクチュエータの全体構成を示す平面図である。

図 5 6 は第 4 実施形態に係る圧電アクチュエータの振動板とローターの接触部付近を示す側面図である。

10 図 5 7 は第 4 実施形態に係る圧電アクチュエータの変形例における振動板とローターの接触部付近を示す側面図である。

図 5 8 は第 4 実施形態に係る圧電アクチュエータの他の変形例の振動板が屈曲振動したときのローターの駆動方向を説明するための図である。

15 図 5 9 は第 4 実施形態に係る圧電アクチュエータの他の変形例の前記振動板を縦振動モードと屈曲振動モードに切り換える駆動回路構成例を示す図である。

図 6 0 は第 1 ないし第 4 実施形態に係る圧電アクチュエータの変形例を示す図である。

図 6 1 は従来の圧電アクチュエータを用いた超音波式モータを模式的に示す平面図である。

20

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

25 A. 第 1 実施形態

A-1. 全体構成

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る腕時計において、圧電アクチュエータを組み込んだカレンダー表示機構の主要構成を示す平面図である。

圧電アクチュエータ A 1 は、面内方向（図の紙面と平行な方向）に伸縮振動す

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

る振動板 10 およびローター（回転体） 100 から大略構成されている。ローター 100 は地板（支持体） 103 に回転自在に支持されるとともに、振動板 10 と当接する位置に配置されており、振動板 10 に生じる振動によってその外周面が叩かれると、図中矢印で示す方向に回転駆動されるようになっている。

- 5      次に、カレンダー表示機構は、圧電アクチュエータ A1 と連結しており、その駆動力によって駆動される。カレンダー表示機構の主要部は、ローター 100 の回転を減速する減速輪列とリング状の日車 50 から大略構成されている。また、減速輪列は日回し中間車 40 と日回し車 60 とを備えている。

- 10      ここで、上述したように振動板 10 が面内方向に振動すると、振動板 10 と当接しているローター 100 が時計回り方向に回転させられる。ローター 100 の回転は、日回し中間車 40 を介して日回し車 60 に伝達され、この日回し車 60 が日車 50 を時計回り方向に回転させる。このように、振動板 10 からローター 100、ローター 100 から減速輪列、減速輪列から日車 50 への力の伝達は、いずれも面内方向で行われる。このため、カレンダー表示機構を薄型化することが  
15      ができる。

- 図 2 は本発明の第 1 実施形態に係る時計の断面図である。図において、網目部分に、上述した圧電アクチュエータ A1 を備えたカレンダー機構が組み込まれており、その厚さは 0.5 mm 程度と極めて薄い。カレンダー表示機構の上側には、円盤状の文字板 70 が設けられている。この文字板 70 の外周部の一部には日付を表示するための窓部 71 が設けられており、窓部 71 から日車 50 の日付が覗けるようになっている。また、文字板 70 の下側には、針 72 を駆動するムーブメント 73、および後述する駆動回路（図示せず）が設けられている。  
20

- 以上の構成において、圧電アクチュエータ A1 は、従来のステップモータのようにコイルやローターを厚さ方向に積み重ねるのではなく、同一平面内に振動板 10 およびローター 100 を配置した構成となっている。このため、構造的に薄型化に適している。このため、カレンダー表示機構を薄型化することができ、ひいては時計全体の厚さを薄くすることができる。さらに、カレンダー表示機構のある時計と、係る表示機構のない時計との間でムーブメント 73 を共通化することができ、生産性を向上させることができる。  
25

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## A-2. 圧電アクチュエータの構成

次に、本実施形態に係る圧電アクチュエータ A 1 について説明する。図 3 に示すように、圧電アクチュエータ A 1 は、図の左右方向に長く形成された長板状の振動板 1 0 と、この振動板 1 0 を地板 1 0 3 (図 1 参照) に支持する支持部材 1 1 とを備えている。

振動板 1 0 の長手方向の端部 3 5 には、突起部 3 6 がローター 1 0 0 側に向けて突設されており、この突起部 3 6 がローター 1 0 0 の外周面に接触している。このような突起部 3 6 を設けることにより、ローター 1 0 0 との接触面の状態等を維持するために突起部 3 6 に対してのみ研磨等の作業を行えばよいので、ローター 1 0 0 との接触部の管理が容易となる。また、突起部 3 6 としては、導体または非導体のものを用いることができるが、非導体から形成するようにすれば、一般的に金属から形成されるローター 1 0 0 と接触しても圧電素子 3 0, 3 1 がショートしないようにすることができる。

また、図示のように本実施形態では、突起部 3 6 は、平面的に視てローター 1 0 0 側に突出した曲面形状になされている。このようにローター 1 0 0 と当接する突起部 3 6 を曲面形状にすることにより、ローター 1 0 0 と振動板 1 0 の位置関係がばらついた (寸法ばらつきなどによる) 場合にも、曲面であるローター 1 0 0 の外周面と曲面形状の突起部 3 6 との接触状態がさほど変化しない。従って、安定したローター 1 0 0 と突起部 3 6 の接触状態を維持することができる。

また、図 4 (a) に示すように、本実施形態では、突起部 3 6 は断面的に視てローター 1 0 0 側に突出した曲面形状となっている。一方、ローター 1 0 0 の外周面には、曲面形状の凹面 1 0 0 a が形成されており、これら曲面形状の突起部 3 6 と凹面 1 0 0 a とが接触するようになっている。このように断面的な接触構造を、曲面と曲面が接触するような構造としたので、突起部 3 6 とローター 1 0 0 との接触角度のばらつきがあった場合にも、良好な接触状態を維持することができる。例えば、図 4 (b) に示すように、突起部 3 6 およびローター 1 0 0 の外周面を直線形状にすると、接触角度がわずかにばらついただけで接触状態が大きく変化してしまう。ここで、接触角度を一定に保つために、突起部 3 6 を案内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

するガイド部材を設けることも考えられるが、そのような構成では部品数の増加を招く、コスト増加の原因となってしまう。従って、本実施形態のように、突起部 36 および凹面 100a を曲面形状にすることにより、コストの大幅な増加を招くことなく、良好な接触状態を維持することができる。また、突起部 36 と凹面 100a との係合が外れてしまうといったことが抑制される。なお、ローター 100 の外周面には、曲面形状の凹面 100a に限らず、図 5 に示すように V 溝 100b を形成するようにしてもよい。この場合にも、突起部 36 とローター 100 との接触角度のばらつきや、V 溝 100b と 136 との係合が外れるといったことを低減することができる。

10 図 3 に戻り、振動板 10 の長手方向の中央よりもややローター 100 側には、支持部材 11 の一端部（取付部）37 が取り付けられている。支持部材 11 の他端部（固定部）38 は、ネジ 39 により地板 103（図 1 参照）に支持されている。この構成の下、支持部材 11 は、その弾性力によって振動板 10 をローター 100 側に付勢した状態で支持しており、これにより振動板 10 の突起部 36 は  
15 ローター 100 の側面に当接させられている。

図 6 に示すように、振動板 10 は、2 つの長方形形状の圧電素子 30, 31 の間に、これらの圧電素子 30, 31 とほぼ同形状であり、かつ圧電素子 30, 31 よりも肉厚の小さいステンレス鋼などの補強板（補強部）32 を配置した積層構造となっている。このように圧電素子 30, 31 の間に補強板 32 を配置することにより、振動板 10 の過振幅や外力に起因する振動板 10 の損傷を低減することができる。また、補強板 32 としては、圧電素子 30, 31 よりも肉厚の小さいものを用いることにより、圧電素子 30, 31 の振動を極力妨げないようにしている。

上下に配置された圧電素子 30, 31 の面上には、それぞれ電極 33 が配置さ  
25 れている。この電極 33 を介して圧電素子 30, 31 に、後述する導通構成から電圧が供給されるようになっている。ここで、圧電素子 30, 31 としては、チタン酸ジルコニウム酸鉛（PZT（商標））、水晶、ニオブ酸リチウム、チタン酸バリウム、チタン酸鉛、メタニオブ酸鉛、ポリフッ化ビニリデン、亜鉛ニオブ酸鉛（ $(\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{-Nb}_{2/3})\text{O}_3)_{1-x}\text{-PbTiO}_3$ ） $x$ は組成により異なる。 $x=0.09$ 程度）、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



スカンジウムニオブ酸鉛 ( $(\text{Pb}((\text{Sc}1/2\text{Nb}1/2)\text{t-x Ti}_x))\text{O}_3)_x$ は組成により異なる。 $x=0.09$ 程度)等の各種のものを用いることができる。

また、本実施形態においては、電極 33 は  $0.5\mu\text{m}$ 以上の厚みで形成されている。通常、このような圧電素子には、 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ 程度の厚みの電極が形成されるが、圧電アクチュエータ A1 では通常の電極厚みよりも厚みを有する電極を形成することにより、電極 33 に電極としての機能に加えて折り曲げに対する補強材の機能を持たせ、振動板 10 の強度を向上させている。ここで、電極 33 の厚みを大きくした場合、強度は向上することになるが、大きくしすぎると振動板 10 の振動の妨げとなってしまう。従って、強度の向上および振動への影響を考慮した場合、電極 33 の厚みは、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であり、かつ上下面に形成された電極 33 の厚みの和が補強板 32 の厚み以下であることが好ましい。本実施形態のように腕時計のカレンダー表示機構に組み込む圧電アクチュエータ A1 の場合、薄型化、振動への影響および強度などを考慮した場合、補強板 32 は  $0.1\text{mm}$ 程度であればよいので、この場合電極 33 の厚みの和は  $0.1\text{mm}$ 以下であればよい。

このような構成の振動板 10 は、後述する駆動回路から電極 33 を介して圧電素子 30, 31 に交流電圧が印加されると、圧電素子 30, 31 が伸縮することによって振動するようになっている。その際、図 7 に示すように、振動板 10 が長手方向に伸縮する縦振動で振動するようになっており、これにより振動板 10 は図 3 中矢印で示す方向に振動することになる（無負荷状態、つまり突起部 36 がローター 100 に接触していない状態）。また、図 8 に示すように、振動板 10 を長板状の圧電素子 30, 31 が積層された構造とし、圧電素子 30, 31 の分極方向（図中矢印で示す）が逆となるように並列接続して駆動することにより、振動板 10 に生じる振動の振幅を増幅させることができ、より大きな変位を得ることができる。一方、図 9 に示すように、圧電素子 30, 31 の分極方向を同一となるように直列接続して駆動すれば、低電流で振動板 10 を振動させることができる。従って、この圧電アクチュエータ A1 の使用条件（変位拡大を重視する場合や、低消費電力化を重視する場合）などにあわせて、圧電素子 30, 31 の接続構造を決定すればよい。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

### A-3. 圧電アクチュエータの動作

次に、上記構成の圧電アクチュエータ A1 の動作について説明する。まず、図示せぬ駆動回路から振動板 10 に電圧が印加されると、圧電素子 30, 31 の伸縮によって撓み振動し、図 3 に示すように、突起部 36 がローター 100 と当接した状態で振動板 10 が矢印方向に振動する。この振動による突起部 36 の変位に伴ってローター 100 が図中矢印方向に回転させられる。このようにローター 100 が回転させられることにより、中間車 101 を介して日車 102 が回転させられ（図 1 参照）、表示される日や曜が切り換わるようになっている。

- 10      ここで、圧電アクチュエータ A1 では、ローター 100 と当接させられる突起部 36 が図 3 中一点鎖線で示す振動板 10 の幅方向（図 3 の上下方向）の中心線からずれた位置に設けられているため、ローター 100 の側面からの反力によって振動板 10 には、図 10 に示すような屈曲振動が生じるようになっている。このように電圧印加による圧電素子 30, 31 の縦振動に加えて、上述した屈曲振動を誘発させれば、図 11 に示すように、突起部 36 が楕円軌道に沿って移動するようになる。すなわち、縦振動に加えて屈曲振動を励振させれば、より大きな変位を得ることができる。このように突起部 36 の変位を大きくすることができれば、この変位に伴って駆動されるローター 100 の駆動効率を向上させることができる。なお、突起部 36 を設ける位置は、図示の位置に限らず、上述したローター 100 からの反力によって略矩形状の振動板 10 に屈曲振動を誘発できる位置に突起部 36 を設けるようにすればよい。

- 25      さらに、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数がほぼ一致するような形状の振動板 10 を用いれば、さらに大きな楕円軌道に沿って突起部 36 を移動させることができる。このように大きな楕円軌道に沿って突起部 36 が移動するようになれば、突起部 36 がローター 100 と接触する時間が長くなり、接触時の突起部 36 の変位が大きくなる。従って、圧電素子 30, 31 の伸縮による縦振動と共振するような屈曲振動を誘発させれば、より高効率の駆動力伝達を行うことができる。

なお、上述したように、振動板 10 に生じる縦振動と屈曲振動とが共振するよ

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

うな形状の振動板を用いるようにしてもよいが、振動板 10 の屈曲振動の共振周波数が縦振動の共振周波数よりも若干大きくなるような形状のものを用いるようにしてもよい。このように縦振動の共振周波数よりも屈曲振動の共振周波数を若干大きくすれば、図 10 に示すように振動板 10 に屈曲振動が生じ、突起部 36

5 を大きく変位させることができるとともに、振動板 10 に生じる振動を安定させることができる。これは、圧電素子 30, 31 への電圧印加により生じる縦振動の共振周波数よりも、この縦振動に伴って生じる屈曲振動の共振周波数が小さいと、屈曲振動が縦振動に追従できず、振動板 10 に生じる振動全体が不安定となるからである。また、屈曲振動の共振周波数と縦振動の共振周波数が大きく異なる振動板では、振動板に生じる縦振動および屈曲振動の振幅が小さくなり、駆動

10 効率が低下してしまう。従って、振動板の縦振動の共振周波数よりも屈曲振動の共振周波数が若干大きければ、振動板 10 に生じる振動の振幅、つまり突起部 36 の変位が小さくなることを抑制するとともに、安定した振動を生じさせることができる。例えば、図 12 に示すようなインピーダンスの変化特性を有する振動

15 板を用いれば、突起部 36 が上述した楕円軌道に沿って大きく変位するとともに、振動板に安定した振動を生じることが実験的に認められた。図 12 に示す特性を有する振動板は、縦振動のインピーダンスの極小値の共振周波数が 284.3 kHz であり、屈曲振動のインピーダンスの極小値の共振周波数が 288.6 kHz となっている。従って、振動板 10 の屈曲振動の共振周波数が縦振動の共振周波数よりも 2% 程度大きくなるような振動板 10 を用いれば、上述したような効果

20 が得られる。また、このように屈曲振動の共振周波数が若干大きくなるようにした場合、振動板 10 の縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との間の周波数で励振すれば、つまりこのような範囲内の励振周波数で圧電素子 30, 31 を駆動すれば、縦振動および屈曲振動の両者を誘発しやすくなり、図 11 に示す楕円軌道がより大きくなるような振動を振動板 10 に生じさせることができ、さら

25 に効率のよいローター 100 の回転駆動が可能となる。

また、上述したようにローター 100 からの反力によって振動板 10 に屈曲振動を誘発させるようにしてもよいが、振動板 10 の縦振動によるローター 100 からの反力によってローター 100 と振動板 10 の当接部である突起部 36 を幅

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

方向に弾性変形させるようにし、上述したような楕円軌道に沿って突起部 36 を移動させるようにしてもよい。

また、この圧電アクチュエータ A1 では、突起部 36 は支持部材 11 の弾性力によってローター 100 側に付勢されているので、ローター 100 と突起部 36 との間に十分な摩擦が得られるようになっている。これにより、突起部 36 とローター 100 とがスリップすることが低減され、突起部 36 からローター 100 への安定した駆動力伝達および大きな駆動力の伝達が可能となる。

また、ローター 100 および振動板 10 は、共に単一部材である地板 103 に支持されているため、両者の配置間隔は一定に維持される。従って、突起部 36 とローター 100 との接触状態を安定して維持することができ、安定した駆動力の伝達が可能となる。

また、本実施形態に係る圧電アクチュエータ A1 では、図 13 中破線で示す振動板 10 の中心線の振幅の節となる位置、つまり振幅が極小となる位置に支持部材 11 の端部 37 が取り付けられている。具体的には、振動板 10 の長手方向の中央部よりもややローター 100 側に取り付けられている。これは、無負荷時には振動板 10 の重心の位置、振動板 10 のように長方形の場合には長手方向の中央部が振動の節になるが、上述したようにローター 100 からの反力等の影響により、実際には図 13 に示したように、振動板 10 の振動の節は中央部よりもローター 100 側に位置することになるからである。このように振動板 10 を振動の節となる位置で支持することにより、振動エネルギーの損失が減少し、より高効率の駆動力伝達が可能となる。また、振動板 10 の振動に伴う支持部材 11 の振動の節の位置が支持部材 11 の端部 37 とほぼ一致するようにすれば、振動エネルギーの損失をさらに低減することができる。なお、振動板 10 が図示のような長方形でない場合にも、振動板の重心よりもローター 100 側で支持するようにすればよい。これは、ローター 100 からの反力等の影響により振動板 10 の振動の節は、振動板 10 の重心よりもローター 100 側に移動するからであり、この節の位置で振動板 10 を支持部材 11 が支持するようにすればよい。

さらに、本実施形態に係る圧電アクチュエータ A1 では、圧電素子 30、31 と補強板 32 とが積層された構造の振動板 10 が増幅部材を介さずにローター 1

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



00を回転駆動することができるので、構成が簡易となり、装置の小型化が容易となる。また、圧電アクチュエータA1の機械的な構成要素は、振動板10と支持部材11等であり、厚さ方向（図1の紙面垂直方向）に部品等を積層されていないため、薄型化も容易である。

5       また、圧電アクチュエータA1では、ローター100を図中矢印で示す一方向にのみ駆動する構成であり、逆方向へローター100を駆動するための別の振動板や、振動板のローター100への当接方向を変化させる機構などが無い、すなわち振動板10の振動を妨げる要素が少ないため、より効率よく駆動力を伝達することができる。

10       また、本実施形態に係る圧電アクチュエータA1では、ローター100を一方向にのみ駆動する構成であるため、ローター100の逆方向への回転を規制する必要があるが、大きな外力が加わるまたは負荷が増大すると、振動板10による駆動力に抗してローター100が逆回転しようとすることがある。例えば、突起部36とローター100との間の摩擦力を越える逆回転力が生じた場合、両者が滑ってしまい、ローター100の逆回転を許容することになる。しかし、本実施形態に係る圧電アクチュエータA1では、図14に示すように、支持部材11が剛体ではなく弾性を有しているため、逆方向へ回転しようとする方向の力が大きくなって逆方向に押し返された場合には、ローター100の逆回転とともに、突起部36がローター100と接触した状態で振動板10が回転することを許容するようになっている。ここで、図15に示すように、本実施形態では、振動板10に許容される回転の中心がローター100と突起部36の接触点Aから点Aにおけるローター100の駆動方向と逆方向に伸びる線Bと点Aにおいて線Bと直交する線Cとによって形成される象限内に位置するように設定されている。つまり、上述した象限内に位置する支持部材11の端部38を中心として振動板10が回転することを許容するようにしている。このような位置に回転中心を設けることにより、ローター100の逆回転に伴って振動板10が図中時計回りに回転すると、突起部36がローター100側にくいこむように変位する。従って、突起部36がローター100を押圧する力が大きくなり、両者の間の摩擦が大きくなる。これにより、振動板10からより大きなトルク（正方向へ回転させようと

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

する)を伝達することができ、負荷増大や外力等に起因するローター100の逆方向への回転を抑止することができる。つまり、負荷増大時には、その負荷の増大に対応して駆動トルクを増加することができるのである。そして、逆方向への力がなくなるもしくは減少すると、支持部材11の弾性力によって振動板10が  
5 図14中一点鎖線で示す下の位置に戻る。

また、このように両者の間の摩擦を増加させる以外にも、図16に示すように、外力等によりローター100が逆回転しようとした場合、突起部36がこの移動に伴って矢印で示す駆動方向の逆方向側へ逃げるように振動板10を回動させるようにしてもよい。このように振動板10を回動させるには、図示のように振動  
10 板10の回動中心がローター100と突起部36の接触点Aから点Aにおけるローター100の駆動方向に伸びる線Dと点Aにおいて線Dと直交する線Cとによって形成される象限内に位置するように設定すればよい。このようにすれば、上述したように突起部36が逃げるように振動板10を回動させることが可能となり、外力等に起因してローター100や突起部36等が損傷することを低減でき  
15 る。

#### A-4. カレンダー表示機構の構成

次に、カレンダー表示機構の構成を、図1およびその断面図である図17を参照しつつ説明する。図において、地板103は、各部品を配置するための第1の  
20 地板であり、また、地板103'は、地板103に対して部分的に段差を持った第2の地板である。ローター100の上方には、ローター100と同軸かつローター100に伴って回転させられる歯車100cが設けられている。日回し中間車40は、大径部4bとこれと同心を成すように固着され大径部4bよりも若干小径に形成された小径部4aとから構成されており、ローター100に伴う歯車  
25 100cの回転に伴って、歯車100cと歯合する大径部4bが回転させられて中間車40が回転させられるようになっている。小径部4aの周面は略正形状に切り欠かれ、切欠部4cが形成されている。また、地板103'には日回し中間車40のシャフト41が形成されており、日回し中間車40の内部にはシャフト41と連結する軸受け(図示せず)が形成されている。したがって、日回し中

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

間車 40 は、地板 103' に対して回動自在に設けられている。なお、ローター 100 も内部に軸受け（図示せず）を有しており地板 103 に対して回動自在に軸支されている。

次に、日車 50 は、リング状の形状をしており、その内周面に内歯車 5a が形成されている。日回し車 60 は五歯の歯車を有しており、内歯車 5a に噛合している。また、日回し車 60 の中心にはシャフト 61 が設けられており、日回し車 60 を回動自在に軸支している。シャフト 61 は、地板 103' に形成された貫通孔 62 に遊挿されている。貫通孔 62 は日車 50 の周回方向に沿って長く形成されている。

次に、板バネ 63 は、その一端は地板 103' に固定され、他端はシャフト 61 に固定されている。これにより、板バネ 63 は、シャフト 61 および日回し車 60 を付勢する。また、この板バネ 63 の付勢作用によって日車 50 の揺動も防止される。

次に、板バネ 64 は、一端が地板 103' にねじ止めされており、その他端には略 V 字状に折り曲げられた先端部 64a が形成されている。また、接触子 65 は、日回し中間車 40 が回転し先端部 64a が切欠部 4c に入り込んだときに板バネ 64 と接触するように配置されている。板バネ 64 には所定の電圧が印加されており、接触子 65 に接触すると、その電圧が接触子 65 にも印加される。したがって、接触子 65 の電圧を検出することによって、日送り状態を検出することができる。なお、内歯車 5a に噛合する手動駆動車を設け、ユーザが龍頭（図示せず）に対して所定の操作を行うと、日車 50 を駆動するようにしてもよい。

#### A-5. カレンダー表示機構の動作

カレンダーの自動更新動作について図 1 を参照しつつ説明する。各日において午前 0 時になると、午前 0 時になったことが検出され、後述する駆動回路 500 から駆動信号 V が圧電素子 30, 31 に供給される。すると、振動板 10 が上述したように振動する。これにより、ローター 100 が時計回り方向に回転し、これに伴って日回し中間車 40 が反時計回り方向に回転を開始する。

ここで、駆動回路 500 は、板バネ 64 と接触子 65 が接触した時に駆動信号

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Vの供給を終了するように構成されている。板バネ64と接触子65とが接触する状態では先端部64aが切欠部4cに入り込んでいる。したがって、日回し中間車40は、そのような状態から回転を開始する。

日回し車60は板バネ63によって時計回り方向に付勢されているため、小径部4aは日回し車60の歯6a、6bに摺動しつつ回転することになる。その途中で切欠部4cが日回し車60の歯6aの位置に達すると、歯6aが切欠部4cと噛合する。その際、日回し車60の外接円はC1に示す位置にまで移動している。

次に、日回し中間車40が引き続き反時計回り方向に回転すると、日回し車60は日回し中間車40に連動して1歯分、すなわち「1/5」周だけ時計回り方向に回転する。さらに、これに連動して、日車50が時計回り方向に1歯分（1日分の日付範囲に相当する）だけ回転される。なお、月内の日数が「31」に満たない月の最終日においては、上記動作が複数回繰返され、曆に基づく正しい日

そして、日回し中間車40が引き続き反時計回り方向に回転して、切欠部4cが板バネ64の先端部64aの位置に達すると、先端部64aが切欠部4cに入り込む。すると、板バネ64と接触子65とが接触して、駆動信号Vの供給が終了し、日回し中間車40の回転が停止する。したがって、日回し中間車40は、1日に1回転することになる。

ところで、圧電アクチュエータA1の負荷は、1)板バネ64の先端部64aが切欠部4cに入り込んだ状態から抜け出るまでの第1の期間と（回転の開始時）、2)切欠部4cが日回し車60と噛合して日車50を回転させている第2の期間において、増大する。圧電アクチュエータA1の負荷が増大すると、ローター100と突起部36との滑りが増し、最悪の場合にはローターを駆動することができなくなる。しかしながら、この例の機構系では、第1の期間と第2の期間とが重ならないようになっている。すなわち、日送り状態の検出のために必要とされる最大トルク時と、日車50を駆動するために必要とされる最大トルク時とをずらしている。したがって、圧電アクチュエータA1のピーク電流を抑圧することができ、この結果、電源電圧をある電圧値以上に維持して、確実に時計を

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



動作させることができる。

#### A-6. 駆動回路

次に、図18は、圧電素子30, 31に電圧を印加する駆動回路500のブロック図であり、図19は駆動回路500のタイミングチャートである。午前0時  
5 検出手段501は、ムーブメント73（図2参照）に組み込まれた機械的なスイッチであり、午前0時になると、図19（a）に示す第1の制御パルスCTLaを出力する。また、日送り検出手段102は、上述した板バネ64と接触子65を主要部とするものであり、板バネ64と接触子65が接触すると図19（b）に示  
10 す第2の制御パルスCTLbを出力する。

次に、制御回路503は、第1の制御パルスCTLaと第2の制御パルスCTLbとに基づいて、発振制御信号CTLcを生成する（図19（c）参照）。制御回路503は、例えば、SRフリップフロップで構成し、第1の制御パルスCTLaをセット端子に供給するとともに、第2の制御パルスCTLbをリセット端子に供給するように  
15 すればよい。この場合には、図19（c）に示すように、第1の制御パルスCTLaがローレベルからハイレベルに立ち上がると、発振制御信号CTLcはローレベルからハイレベルに変化し、その状態が第2の制御パルスCTLbの立ち上がりまで維持され、そのタイミングでハイレベルからローレベルに変化する。

次に、発振回路504は、振動板10の振動モードの次数を $n$ 次としたとき、  
20 発振周波数が $f_s(n)$ とほぼ等しくなるように構成されている。なお、発振回路504は、例えば、コルピッツ型の形式で構成すればよい。

また、この発振回路504への給電は発振制御信号CTLcによって制御されるようになっており、発振制御信号CTLcがハイレベルのとき給電され、ローレベルのとき給電が停止されるようになっている。したがって、発振回路504の出力である駆動信号Vの信号波形は、図19（d）に示すように発振制御信号CTLcがハ  
25 イレベルのとき振れるものとなる。

上述したように日回し中間車40は1日に1回転するが、その期間は午前0時から開始する限られた時間である。したがって、発振回路504は当該期間のみ発振していれば足りる。この例の駆動回路500にあっては、発振回路504へ

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

の給電を発振制御信号CTLcによって制御することにより、日回し中間車40を回動させる必要のない期間は、発振回路504の動作を完全に停止させている。したがって、発振回路504の消費電力を削減することができる。

## 5 A-7. 圧電アクチュエータの変形例

なお、上述した構成の圧電アクチュエータA1に代えて、以下のような種々の変形した態様の圧電アクチュエータを用いることも可能であり、またこれらの変形態様を組み合わせた態様の圧電アクチュエータを用いることも可能である。

### 10 A-7-1. 第1の変形態様

上述した実施形態に示した圧電アクチュエータA1では、振動板10におけるローター100との接触部に突起部36を設けるようにしていたが、図20に示すように、長方形の振動板10のローター100側の頂点を切り欠いた切り欠き部90を形成し、切り欠き部90をローター100の側面と当接させるようにしてもよい。この場合にも、上述した突起部36と同様に切り欠き部90の表面状態の管理が容易となる。ここで、切り欠き部90を曲面形状とすることにより、上述した圧電アクチュエータA1と同様に良好な接触状態を維持することができる。

### 20 A-7-2. 第2の変形態様

また、上述した実施形態では、圧電素子30, 31の全面上に電極33を設けるようにしていたが、図21に示すように、圧電素子30, 31の長手方向中央部付近にのみ電極33を配置し、両端側には電極33を配置しないようにしてもよい。つまり、圧電素子30, 31がその面上に電極を有する電極部と、その両端側に位置する無電極部を有する構成とするようにしてもよい。このようにすれば、ローター100への駆動力を維持しつつ、低駆動電圧化が可能となる。これは、振動板10をその固有振動周波数で振動させた場合、その振動による振動板10の両端側の変位は十分大きく、その部分に電圧を印可して両端側の圧電素子30, 31を伸縮させても、さらに変位を大きくするものとはならないためであ

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

る。

また、図 2 2 に示すように、圧電素子 3 0, 3 1 の幅方向（図の上下方向）の中央部付近にのみ電極 3 3 を配置し、幅方向の両端側（図の上下側）には電極 3 3 を配置しないようにしてもよい。

5

### A-7-3. 第 3 の変形態様

また、上述した実施形態では、長形状の振動板 1 0 を用いるようにしていたが、図 2 3 に示すように、ローター 1 0 0 側の幅が小さいテーパー状の振動板 9 5 を用いるようにしてもよい。このような形状の振動板 9 5 を作製する場合、上述した振動板 1 0 と同様にテーパー状の圧電素子と補強板を積層すればよい。このような振動板 9 5 を用いれば、振動板 1 0 のローター 1 0 0 側の端部 9 6 の変位が大きくなり、ローター 1 0 0 の高速駆動が可能となる。また、図の上下方向である幅方向の長さが不均一になるため、振動板 1 0 の幅方向の共振を抑制する、すなわち幅方向の振動を低減することができる。

10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10055 10060 10065 10070 10075 10080 10085 10090 10095 10100 10105 10110 10115 10120 10125 10130 10135 10140 10145 10150 10155 10160 10165 10170 10175 10180 10185 10190 10195 10200 10205 10210 10215 10220 10225 10230 10235 10240 10245 10250 10255 10260 10265 10270 10275 10280 10285 10290 10295 10300 10305 10310 10315 10320 10325 10330 10335 10340 10345 10350 10355 10360 10365 10370 10375 10380 10385 10390 10395 10400 10405 10410 10415 10420 10425 10430 10435 10440 10445 10450 10455 10460 10465 10470 10475 10480 10485 10490 10495 10500 10505 10510 10515 10520 10525 10530 10535 10540 10545 10550 10555 10560 10565 10570 10575 10580 10585 10590 10595 10600 10605 10610 10615 10620 10625 10630 10635 10640 10645 10650 10655 10660 10665 10670 10675 10680 10685 10690 10695 10700 10705 10710 10715 10720 10725 10730 10735 10740 10745 10750 10755 10760 10765 10770 10775 10780 10785 10790 10795 10800 10805 10810 10815 10820 10825 10830 10835 10840 10845 10850 10855 10860 10865 10870 10875 10880 10885 10890 10895 10900 10905 10910 10915 10920 10925 10930 10935 10940 10945 10950 10955 10960 10965 10970 10975 10980 10985 10990 10995 11000 11005 11010 11015 11020 11025 11030 11035 11040 11045 11050 11055 11060 11065 11070 11075 11080 11085 11090 11095 11100 11105 11110 11115 11120 11125 11130 11135 11140 11145 11150 11155 11160 11165 11170 11175 11180 11185 11190 11195 11200 11205 11210 11215 11220 11225 11230 11235 11240 11245 11250 11255 11260 11265 11270 11275 11280 11285 11290 11295 11300 11305 11310 11315 11320 11325 11330 11335 11340 11345 11350 11355 11360 11365 11370 11375 11380 11385 11390 11395 11400 11405 11410 11415 11420 11425 11430 11435 11440 11445 11450 11455 11460 11465 11470 11475 11480 11485 11490 11495 11500 11505 11510 11515 11520 11525 11530 11535 11540 11545 11550 11555 11560 11565 11570 11575 11580 11585 11590 11595 11600 11605 11610 11615 11620 11625 11630 11635 11640 11645 11650 11655 116

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

端部 96 の変位は小さくなるが、ローター 100 を回転させようとするトルクが増加し、これにより低速・高トルク駆動が可能となる。

また、図 23 ~ 26 に示したような長方形以外の形状の振動板を用いた場合にも、その上下面に設ける電極の形状は長方形であってもよい。例えば、図 27 に示すように、振動板 95 に長形状の電極を形成した場合には、低駆動電圧での高速駆動が可能となる。

#### A-7-4. 第 4 の変形態様

また、図 28 に示すように、振動板 10 からローター 100 側に延出するホーン部 (延出部) 110 を設けるようにしてもよい。このようなホーン部 110 を設ける場合には、図 29 に示すように、補強板 32 を図示のようにホーン部 110 を含んだ形状に作製し、これの上下にそれぞれ圧電素子 30, 31 を積層するようにすればよい。この構成の下、振動板 10 を振動させれば、図 28 中破線で示すような振幅で振動板 10 およびホーン部 110 が振動する。従って、ローター 100 と当接するホーン部 110 の先端の変位が大きくなり、効率よく駆動力付与を行うことができる。なお、ホーン部 110 は図 28 に示すような形状に限らず、図 30 に示すような形状のものであってもよい。

#### A-7-5. 第 5 の変形態様

また、図 31 に示すように、振動板 10 の突起部 36 とローター 100 との接線、つまり振動初期状態での突起部 36 からローター 100 への押し付け力  $F$  の方向と垂直な線  $S$  上に支持部材 11 の端部 38 が位置するように配置してもよい。つまり、ローター 100 と突起部 36 との当接点における駆動方向線  $S$  上に支持部材 11 の固定部分が位置するようにしてもよい。このような位置関係となるように振動板 10、支持部材 11 およびローター 100 を配置すれば、突起部 36 のローター 100 への押し付け力等を調整するために、ネジ 39 で固定された端部 38 を中心に支持部材 11 および振動板 10 の位置の微調整を行った場合にも、ローター 100 と突起部 36 との接触位置や角度が変化せず、常に安定した駆動力付与を行うことができる。また、形状、位置ずれおよび経時変化などに起因す

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



る振動板とローターの接触角度の変化を防止することができる。

#### A-7-6. 第6の変形態様

また、図32に示すように、2つの支持部材11で振動板10の長手方向の両  
5 端側をそれぞれ支持するようにしてもよい。このようにすれば、振動板10の幅  
方向（図の上下方向）の振動を抑制する、つまりローター100の駆動に必要と  
なる図の左右方向の振動の妨げとなる振動を抑制することができる。この場合、  
図33に示すように支持部材11における端部37が振動板10の振動に伴う支  
持部材11の振動の腹となる位置とほぼ一致する、例えば支持部材11の長さを  
10 支持部材11の振動波長の $1/4$ となる長さにすれば、振動板10の長手方向で  
ある図の左右方向の振動を妨げとなることが減少し、効率がさらに向上する。

また、このように2つの支持部材11で振動板10を支持する場合、図34に  
示すように、いずれか一方の支持部材11（図の右側）で振動板10の振動の節  
となる位置を支持し、他方の支持部材11（図の左側）で振動板10におけるロ  
15 ター100側の端部を支持するようにしてもよい。このようにすれば、一方の  
支持部材11は振動の節を支持するようにしているので、振動エネルギーの損失  
が減少するとともに、他方の支持部材11はローター100との接触部付近での  
幅方向の振動を抑制することができる。

#### 20 A-7-7. 第7の変形態様

また、上述した実施形態では、支持部材11が振動板10をローター100側  
に付勢するようにしていたが、図35に示すように、ばね部材（弾性部材）18  
0を設けて振動板10をローター100側に付勢するようにしてもよい。同図に  
示すように、振動板10の図の上側には支持部材11が取り付けられており、振  
25 動板10の下側には、ばね部材180の一端が取り付けられている。ばね部材1  
80の他端は、地板103（図1参照）に立設されたピン181に支持されてい  
る。これにより、振動板10は図の上側であるローター100側に付勢され、突  
起部36がローター100の側面に当接させられるようになっている。このよう  
にばね部材180を設けて振動板10をローター100側に付勢するようにすれ

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

ば、上述した実施形態の圧電アクチュエータ A 1 と同様に安定した駆動力の伝達を行うことができる。

このように振動板 1 0 を支持する支持部材 1 1 と振動板 1 0 をローター 1 0 0 側に付勢するばね部材 1 8 0 を設けた場合にも、図 3 6 に示すように、上述した  
5 実施形態と同様に線 B と線 C によって形成される象限内の位置（例えば図示のように端部 3 8 の位置）を中心として振動板 1 0 が回動できるようにしておけばよい。このようにすれば、外力によってローター 1 0 0 が逆回転しようとした場合にも、図 3 7 に示すように、振動板 1 0 がローター 1 0 0 の逆回転に伴って回動した後、振動板 1 0 が元の位置に戻ることに伴ってローター 1 0 0 が正方向に戻り、ローター 1 0 0 の逆回転を抑制することができる。  
10

なお、このように支持部材 1 1 とばね部材 1 8 0 を設けた場合にも、図 3 8 に示すように、振動板 1 0 をテーパー状に形成してもよいし、またホーン部（図 2 8 参照）を設けるようにしてもよい。

また、図 3 9 に示すように、振動板 1 0 を支持する支持部材と振動板 1 0 をローター 1 0 0 側に付勢するばね部材を一体化した弾性支持部材 6 0 0 を設けるようにしてもよい。同図に示すように、弾性支持部材 6 0 0 は、L 字状の部材であり、振動板 1 0 を支持する支持部 6 0 0 a と、支持部 6 0 0 a から屈曲して伸びるばね部 6 0 0 b とを有している。そして、支持部 6 0 0 a とばね部 6 0 0 b の中間部分である屈曲部でネジ 3 9 に支持されるとともに、ばね部 6 0 0 b の端部  
20 がピン 1 8 1 に支持されることにより、振動板 1 0 がローター 1 0 0 側に付勢され、これにより突起部 3 6 とローター 1 0 0 の外周面が当接させられている。また、弾性支持部材 6 0 0 は、ネジ 3 9 の部分を中心として若干の回動が許容されており、これにより圧電アクチュエータ A 1 と同様にローター 1 0 0 の逆回転を規制することができる。

25

#### A-7-8. 第 8 の変形態様

また、上述した実施形態においては、振動板 1 0 が補強板 3 2 の上下に圧電素子 3 0, 3 1 をそれぞれ積層した構造となっていたが、これに限らず、振動板を 1 つの圧電素子と補強板を積層するといった簡易な構造のものでもよい。また、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

3つ以上の圧電素子を積層して構成するようにしてもよい。

#### A-8. 圧電アクチュエータへの導通構成

次に、上述した様々な態様の圧電アクチュエータの圧電素子に駆動回路500  
5 から駆動電圧を供給する導通構成について説明する。通常、駆動回路500から振動板10に設けられた電極33に配線を施すことにより、圧電素子に電力を供給することができるが、導通構成の簡略化を目的として、図40～45に示すような様々な導通構成によって圧電素子に電力を供給するようにしてもよい。

上述した圧電アクチュエータA1では、振動板10が補強板32の上下に圧電  
10 素子30, 31をそれぞれ積層した構造となっていたが、図40に示す圧電アクチュエータは、1つの圧電素子251の上下にそれぞれ補強板32を積層した構造となっている。そして、上層の補強板32を支持部材11aで支持し、下層の補強板32を支持部材11bで支持するようにし、補強板32および支持部材11a, 11bをそれぞれ導電体で形成している。この構成の下、駆動回路500  
15 からの駆動電圧が支持部材11a, 11bおよび補強板32を介して圧電素子251に供給されるようになっている。このようにすれば、支持部材11a, 11bが振動板10をローター100側に付勢しながら支持する機能に加えて圧電素子251に駆動電圧を供給する導通機能を有することになる。従って、別に圧電素子251に駆動電圧を供給するための配線等の導通構成を設ける必要がなくなり、構成が簡易となる。また、他に導通部品を設けた場合、その導通部品が振動  
20 板10の振動の妨げとなることがあるが、この導通構成ではそのような問題がなく、効率のよい駆動力伝達を行うことができる。

また、図41および図42に示すように、補強板32とその上下に圧電素子30, 31をそれぞれ積層した振動板10を用いる場合にも、導電体から形成される支持部材11c, 11dを介して駆動回路500から圧電素子30, 31に駆  
25 動電圧を供給するようにしてもよい。

図41および図42に示すように、支持部材11cは、振動板10側で2つに分岐する形状になされており、上側（図41の紙面手前側）に分岐した上端部260、および下側（図の紙面奥側）に分岐した下端部261を有している。上端

**THIS PAGE BLANK (USPTO**

部 2 6 0 は、圧電素子 3 0 の面上に形成された電極 3 3 にはんだや導電性接着剤等により取り付けられており、下端部 2 6 1 は、圧電素子 3 1 の面上に形成された電極 3 3 にはんだや導電性接着剤等により取り付けられている。一方、支持部材 1 1 d は、補強板 3 2 に取り付けられており、これにより駆動回路 5 0 0 から  
5 圧電素子 3 0, 3 1 に駆動電圧が供給されるようになっている。この場合にも、上述したように支持部材 1 1 c, 1 1 d が振動板 1 0 を支持する機能を有するとともに、圧電素子 3 0, 3 1 への導通機能を有することになり、構成が簡易となるとともに、効率のよい駆動力伝達を行える。

上述したように導電体から形成される支持部材を介して駆動回路から圧電素子  
10 に駆動電圧を供給するようにしてもよいが、図 4 3 に示すような導通構成で圧電素子に駆動電圧を供給するようにしてもよい。同図に示すように、この導通構成では、C 字状の弾性導通部材 2 8 0 で振動板 1 0 の上下面（電極 3 3）を挟持させ、補強板 3 2 から駆動回路 5 0 0 に配線を接続している。このような弾性導通部材 2 8 0 を用いれば、簡易な構成でありながら、駆動回路 5 0 0 から上下に積  
15 層された圧電素子 3 0, 3 1 に駆動電圧を供給することができる。

また、図 4 4 および図 4 5 に示すように、振動板 1 0 に導線 2 9 0 を巻き付けるようにし、巻き付けた導線 2 9 0 を介して駆動回路 5 0 0 から駆動電圧を圧電素子 3 0, 3 1 に供給するようにしてもよい。このようにしても簡易な導通構成で圧電素子 3 0, 3 1 に駆動電圧を供給することができる。なお、上述したよう  
20 に弾性導通部材 2 8 0 や導線 2 9 0 を介して電圧を供給する場合、振動板 1 0 の積層構造は、上下面に電極が配置される構造であってもよいし、上下面に導体となる補強板が配置される構造のものであってもよい。また、圧電素子と補強板の積層構造である振動板以外にも、圧電素子に電圧を供給する場合にも、上述した弾性導通部材 2 8 0 や導線 2 9 0 を用いることができる。

25

## B. 第 2 実施形態

次に、本発明の第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータについて説明する。なお、第 2 実施形態において、第 1 実施形態と共通する構成要素については、同一の符号を付けて、その説明を省略する。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



図 4 6 に示すように、第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータは、第 1 実施形態に係る圧電アクチュエータ A 1 の振動板 1 0 の代わりに振動板 3 1 0 を備えた構成となっている。

図 4 7 に示すように、振動板 3 1 0 は、第 1 実施形態における振動板 1 0 と同様に補強板 3 2 の上下に圧電素子 3 0, 3 1 それぞれ積層した構造であるが、図 4 8 に示すように、圧電素子 3 0, 3 1 上に電極 3 3 a, 3 3 b, 3 3 c, 3 3 d が配置されている点で振動板 1 0 と異なっている。また、振動板 3 1 0 では、圧電素子 3 0 を（図示はしないが圧電素子 3 1 も同じ）4 つの領域に分割し、分割された領域上にそれぞれ電極 3 3 a, 3 3 b, 3 3 c, 3 3 d を配置している。

このように圧電素子 3 0 の 4 つの領域上に配置された電極 3 3 a, 3 3 b, 3 3 c, 3 3 d に駆動電圧を供給する導通構成について図 4 9 を用いて説明する。同図に示すように、スイッチ（選択手段）3 4 1 のオン／オフを切り換えることによって、電源 3 4 0 から駆動電圧を全ての電極 3 3 a, 3 3 b, 3 3 c, 3 3 d に供給するモードと、電源 3 4 0 から電極 3 3 a, 3 3 d に供給するモードとを切り換えることができるようになっている。

ここで、スイッチ 3 4 1 がオンになされ、全ての電極 3 3 a, 3 3 b, 3 3 c, 3 3 d に駆動電圧を供給するモードが選択された場合には、図 5 0 (a) に示すように、上述した第 1 実施形態と同様に振動板 3 1 0 が長手方向に伸縮して、振動板 3 1 0 の長手方向に縦振動するようになっている（以下、縦振動モードとする）。一方、スイッチ 3 4 1 がオフになされ、電極 3 3 a, 3 3 d にのみ駆動電圧を供給するモードが選択された場合には、駆動電圧が印加された領域のみの圧電素子 3 3 a, 3 3 d が伸縮し、図 5 0 (b) に示すように、振動板 3 1 0 は振動板 3 1 0 の属する平面内で幅方向（図の上下方向）に屈曲振動するようになっている（以下、屈曲振動モードとする）。このように、スイッチ 3 4 1 を切り換えることによって振動板 3 1 0 の振動モードを選択することができるようになっている。

第 2 実施形態に係る圧電アクチュエータでは、上述したように 2 つの振動モードを切り換えることが可能な振動板 3 1 0 を用いてローター 1 0 0 を駆動しており、スイッチ 3 4 1 を操作して振動モードを切り換えることによりローター 1 0

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

0の駆動方向を切り換えることができきようになっている。縦振動モードが選択されている場合には、図51に示すように、振動板310の縦振動によって、ローター100と突起部36の当接部から図中左向きの駆動力が付与され、これによりローター100が図中時計回りに回転させられる。

- 5 一方、屈曲振動モードが選択された場合、図52に示すように、振動板310の屈曲振動によって、ローター100と突起部36との当接部から図中上向きの駆動力が付与され、これによりローター100が図中反時計回りに回転させられるようになっている。

- 第2実施形態に係る圧電アクチュエータでは、スイッチ341を切り換えることにより、ローター100を正方向および逆方向に駆動することができる。上述したように振動板310の振動モードを切り換えることにより、駆動方向の切り換えを行うようにしたので、駆動方向毎に振動板を設けたり、振動板と駆動対象であるローターとの位置関係を調節する調節機構を設けたりする必要がない。従って、構成の複雑化および装置の大型化を招くことなく、駆動方向を正逆に切り換えることが可能である。

- 20 なお、第2実施形態に係る圧電アクチュエータにおいても、上述した第1実施形態と同様に種々の変形が可能である。例えば、振動板310に突起部36の代わりに切り欠き部を設けるようにしてもよい（図20参照）。また、振動板310の突起部36とローター100との接線上に支持部材11の端部38が位置するようにし、突起部36とローター100との接触状態を安定させるようにしてもよい（図31参照）。また、支持部材11に加えてばね部材を設けるようにし、このばね部材によって振動板310をローター100側に付勢するようにしてもよい（図35参照）。

## 25 C. 第3実施形態

次に、本発明の第3実施形態に係る圧電アクチュエータについて説明する。なお、第3実施形態において、第1および第2実施形態と共通する構成要素には、同一の符号を付けて、その説明を省略する。

上述した第1および第2実施形態では、振動板がばね部材や支持部材の付勢力

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

によってローター100側に押圧されていたが、第3実施形態は、ローター100を振動板側に押圧する構成となっており、この構成について図53を用いて説明する。同図に示すように、この実施形態では、ローター100の回転軸100jが弾性回動部材550の一端に支持されており、回転軸100jは弾性回動部材550の回転軸550aを中心として回動自在になされている。弾性回動部材550は、一端が回転軸100jを支持するとともに他端が回転軸550aに回動自在に支持される回動部550bと、回動部550bの回転軸550a側から屈曲して延出するばね部550cとから構成されている。そして、ばね部550cの側面が立設されたピン551に支持されることにより、回動部550bが図中時計回りに回動させられるように付勢されている。つまり、ローター100の回転軸100jが図の右側に付勢されるようになっている。

一方、振動板10は、第1実施形態と異なり、幅方向の両端で剛体からなる支持部材552によって支持されている。ここで、支持部材552は、振動板10が振動した場合の振動の節となる位置で振動板10を支持するようになっており、振動板10と支持部材552の取付部553の位置は固定されている。このように振動板10を振動の節となる位置で固定することにより、振動板10の振動を安定させることができる。また、振動板10を固定支持した場合にも、ローター100が振動板10側に付勢されているので、ローター100の外周面と突起部36との間で十分な摩擦が生じ、両者の間でより効率の高い駆動力伝達を行える。

また、ローター100と同軸、つまり回転軸100jを回転軸としてローター100とともに回転する第1歯車555と、第1歯車555と歯合する第2歯車556といった増速または減速等のための歯車機構等を有する場合には、図示のように弾性回動部材550の回転軸550aと、回転軸100jと、第2歯車556の回転軸556aをほぼ一直線L上になるように各構成要素を配置し、ローター100の回転軸100jから直線Lと直交する方向に突起部36が位置するように振動板10を配置することが好ましい。これは、このような配置とすることにより、取付時のばらつき、寸法ばらつき、および接触部の磨耗などによって弾性回動部材550が回動した場合にも、ローター100と突起部36との接触角がほとんど変化せず、良好な接触状態を維持することができるからである。ま

THIS PAGE BLANK (USPTO)

た、第1歯車555が回動した場合、第1歯車555と第2歯車556の位置関係もほとんど変化せず、安定した駆動力の伝達が行える。

また、上述した構成では、第2歯車556にかかる負荷が大きくなる、つまり第2歯車556が図中反時計回りである駆動方向と逆方向に回転しようとする力が大きくなると、第1歯車555およびローター100にも時計回りに回転しようとする力が増加することになる。すなわち、第1歯車555は第2歯車556との歯合部分において図中右方向に受ける力が増加することになる。これに伴って、回転軸100jを支持する弾性回動部材550が図中時計回りに回動しようとする力が増加し、これによりローター100の外周面が突起部36を押圧する力が増加することになる。このようにローター100の外周面が突起部36を押圧する力が増加すると、両者の間の摩擦が大きくなり、振動板10からローター100に伝達できる回転トルクが増加することになる。このように、この圧電アクチュエータでは、負荷が増加するに伴って回転トルクを増加させることができる。逆に、負荷が少なくなる場合には、ローター100の外周面と突起部36との間の摩擦が減少することになるが、摩擦が減少することにより低電力でのローター100の駆動が可能となる。従って、第3実施形態に係る圧電アクチュエータでは、低負荷時には低消費電力での動作が可能でありながら、最大トルクを向上させることができる。

なお、第3実施形態では、ローター100の回転軸100jを移動可能にし、弾性回動部材550がローター100を振動板10側に付勢するようにしていたが、これに限らず、図54に示すように、ローター100を弾性体から形成し、ローター100自体の弾性力でローター100の外周面を振動板10側に押圧するような構成であってもよい。この場合、外力を受けていないとき、つまり弾性変形していないときのローター100が図の二点差線で示す外周面が突起部36と交錯する位置に配置されるような位置にローター100の回転軸100jの位置を固定すれば、ローター100が元の形状に戻ろうとする弾性力によってローター100の外周面と突起部36とが押圧接触した状態となり、両者の間に十分な摩擦が生じ、効率のよい駆動力伝達が行える。また、このような弾性力を有するローター100としては、図示のように中空部を有する形状のものであれば、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



金属材などを使用することも可能である。

また、第3実施形態においては、上述した振動板10以外にも、第1実施形態と同様、様々な態様の振動板を用いるようにしてもよいし、第2実施形態に示した振動板310のように縦振動モードと屈曲振動モードを選択できる振動板を用

5 いるようにしてもよい。

#### D. 第4実施形態

次に、本発明の第4実施形態に係る圧電アクチュエータについて説明する。なお、第3実施形態において、第1ないし第3実施形態と共通する構成要素には、

10 同一の符号を付けて、その説明を省略する。

図55に示すように、第4実施形態に係る圧電アクチュエータは、円盤状のローター100の表面上に、振動板10の一端側が重ねて配置された構造となっている。ここで、図56に示すように、振動板10は、ローター100の平面に対して傾けられて配置されており、振動板10のローター100の平面側に突設された突起部700がローター100の平面部に斜め方向から当接した状態となっ

15 ている。

この構成の下、図示せぬ駆動回路から振動板10の圧電素子に電圧が印加されると、振動板10が図中矢印で示す方向に縦振動する。この縦振動においてローター100の中心側に伸びるように振動した際に、一端部700がローター100の平面と接触したまま変位することにより、ローター100が図55中矢印で

20 示す時計方向に回転駆動されるようになっている。

なお、振動板10は、ローター100の表面側だけでなく、裏面側に設けるようにしてもよい。また、図57に示すように、振動板10をローター100の平面に対して傾けずに、突起部700の下面から下方に突設される突起部710を

25 設けて、この突起部710とローター100の平面とを当接させるようにしてもよい。

また、第4実施形態においては、上述した振動板10以外にも、第1実施形態と同様、様々な態様の振動板を用いるようにしてもよい。

さらに、縦振動モードと屈曲振動モードを選択できる振動板を用いるようにし

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

て、駆動対象の駆動方向を切り換えるようにしてもよい。この場合、縦振動モードでは、上記振動板と同様に振動してローター 100 を駆動し、屈曲振動モードでは、図 58 に示すように平面外方向に屈曲振動する振動板 580 を設け、屈曲振動モードではローター 100 を縦振動モードと逆方向である図の右側に駆動するよう

5 りにしてもよい。

このように縦振動モードおよび屈曲振動モードを切り換える場合、図 59 に示すような駆動回路を構成するようにすればよい。そして、縦振動モードと屈曲振動モードでスイッチ 581 を図示のように切り換えれば、縦振動モードでは積層配置された 2 つの圧電素子 30, 31 が同位相で振動することにより平面方向で

10 縦振動し、屈曲振動モードでは圧電素子 30, 31 が逆位相で振動することにより、平面外方向に屈曲振動させることができる。なお、図 59 中の矢印は分極方向を示す。

#### E. 変形例

15 なお、上述した様々な実施形態においては、圧電アクチュエータが円盤状のローターを回転駆動する構成となっていたが、駆動対象はこれに限定されるものではなく、例えば図 60 に示すような略直方体状の駆動部材 660 に上述した振動板 10 を当接させ、この直方体状部材 660 をその長手方向に駆動するよう

してもよい。

20 また、上述した様々な実施形態に係る圧電アクチュエータは、上述したような時計のカレンダー表示機構に搭載される以外にも、電池駆動される時計以外の携帯機器に搭載して用いることも可能である。

また、上述した様々な実施形態においては、補強板 32 として板状の部材を用いるようにしていたが、これに限らず、圧電素子に積層される補強部としては、

25 スパッタ等で形成される金属膜であってもよく、その形成方法も任意である。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## 請求の範囲

## 1. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

- 5 前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向  
10 に駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

2. 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材によって移動可能に支持されていることを特徴とする請求項 1 に記載の圧電アクチュエータ。

15

## 3. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

- 20 前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方向  
に駆動する

- 25 ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

4. 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材および前記弾性部材によって回動可能に支持されていることを特徴とする請求項 3 に記載の圧電アクチュエータ。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

5. 前記振動板は、前記駆動対象が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記駆動対象を押圧する力が大きくなるように支持されていることを特徴とする請求項 2 または 4 に記載の圧電アクチュエータ。

5

6. 前記振動板は、前記駆動対象が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記逆方向側に移動するように支持されていることを特徴とする請求項 2 または 4 に記載の圧電アクチュエータ。

10 7. 前記振動板の前記駆動対象に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

15 8. 前記振動板は、1つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、前記振動板における切り欠かれた部分が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

20 9. 前記振動板は、前記駆動対象と当接する前記端部側が他端側よりも細くなる形状の部分の有していることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

10 10. 前記振動板は、前記駆動対象と当接する前記端部側が他端側よりも太くなる形状の部分の有していることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

25

11. 前記補強部は、前記圧電素子よりも前記駆動対象側に前記振動板の中央部よりも細く前記駆動対象側に伸びて前記駆動対象に当接する延出部を有していることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



12. 前記支持部材の前記固定部は、前記駆動対象の駆動方向線上に位置することを特徴とする請求項1ないし11のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

13. 前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記駆動対象から受ける反力によって、前記振動板が前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動が生じるようにしたことを特徴とする請求項1ないし12のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

14. 前記振動板に生じる縦振動と屈曲振動の共振周波数がほぼ同じになるようにしたことを特徴とする請求項13に記載の圧電アクチュエータ。

15. 前記振動板に生じる縦振動の共振周波数よりも前記振動板に生じる屈曲振動の共振周波数が大きいことを特徴とする請求項13に記載の圧電アクチュエータ。

16. 前記圧電素子を駆動する励振周波数は、前記振動板に生じる縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との間の周波数であることを特徴とする請求項15に記載の圧電アクチュエータ。

20

17. 前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記駆動対象から受ける反力によって、前記振動板の前記駆動対象と当接する前記端部が前記長手方向と直交する幅方向に弾性変形するようにしたことを特徴とする請求項1ないし12のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

25

18. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備し

5 ており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

10

19. 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材によって移動可能に支持されていることを特徴とする請求項18に記載の圧電アクチュエータ。

20. 支持体と、

15 長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

20 前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

25 ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

21. 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材および前記弾性部材によって回転可能に支持されていることを特徴とする請求項20に記載の圧電アクチュエータ。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

22. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、  
外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

- 5 前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の前記外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に

- 10 回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

23. 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材によって移動可能に支持されていることを特徴とする請求項22に記載の圧電アクチュエータ。

15

24. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、  
外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

- 20 前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に

- 25 回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

25. 前記振動板は、該振動板の属する平面内で前記支持部材および前記弾性部材によって回転可能に支持されていることを特徴とする請求項24に記載の圧

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

電アクチュエータ。

26. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

- 5 外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

- 10 前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部と当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

15

27. 前記回転体の回転軸を回転自在に支持する回転部材と、

前記回転体と回転軸を共通し、前記回転体と一体となって回転する第1の歯車と、

前記第1の歯車と歯合する第2の歯車とをさらに具備し、

- 20 前記回転部材の回転中心と、前記回転体および前記第2の歯車の回転軸とをほぼ一直線上に配置し、

前記回転体と前記振動板の当接位置は、前記回転体の回転軸から前記直線と直交する方向にある

ことを特徴とする請求項26に記載の圧電アクチュエータ。

25

28. 前記回転体の回転負荷の増加に伴って、前記弾性部材が前記回転体を前記振動板の前記端部側に押圧する力が増加するようにしたことを特徴とする請求項26または27に記載の圧電アクチュエータ。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## 29. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を

5 有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、

前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性体から形成されており、

前記圧電素子が前記振動板の長手方向に振動した場合、この振動によって前記  
10 振動板が振動し、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

30. 前記回転体の前記外周面には、凹面状の溝が形成されていることを特徴  
15 とする請求項22ないし29のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

31. 前記振動板は、前記回転体が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記駆動対象を押圧する力が大きくなるように支持されていることを特徴とする請求項23または25に記載の圧電アクチュエータ。

20

32. 前記振動板は、前記回転体が駆動される前記方向と逆方向に移動しようとする力が加わった場合に前記逆方向側に移動するように支持されていることを特徴とする請求項23または25に記載の圧電アクチュエータ。

25 33. 前記振動板の前記回転体に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記回転体に当接することを特徴とする請求項18ないし32のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

34. 前記振動板は、1つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

前記振動板における切り欠かれた部分が前記回転体に当接することを特徴とする請求項 18 ないし 32 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

35. 前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、曲面形状になされていることを特徴とする請求項 18 ないし 34 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

36. 前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記回転体の回転軸方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項 35 に記載の圧電アクチュエータ。

37. 前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記振動板の幅方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項 35 または 36 に記載の圧電アクチュエータ。

38. 前記支持体は、前記回転体と前記振動板の両者を支持する単一の部材を有していることを特徴とする請求項 18 ないし 37 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

39. 前記振動板は、前記回転体と当接する前記端部側が他端側よりも細くなる形状の部分を有していることを特徴とする請求項 18 ないし 38 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

40. 前記振動板は、前記回転体と当接する前記端部側が他端側よりも太くなる形状の部分を有していることを特徴とする請求項 18 ないし 38 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

41. 前記補強部は、前記圧電素子よりも前記回転体側に前記振動板の中央部よりも細く前記回転体側に伸びて前記回転体に当接する延出部を有していること

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

を特徴とする請求項 18 ないし 38 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

42. 前記支持部材の前記固定部は、前記回転体の駆動方向線上に位置することを特徴とする請求項 18 ないし 41 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

5

43. 前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記回転体から受ける反力によって、前記振動板が前記長手方向と直交する幅方向に揺動する屈曲振動が生じるようにしたことを特徴とする請求項 18 ないし 42 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

10

44. 前記振動板に生じる縦振動と屈曲振動の共振周波数がほぼ同じになるようにしたことを特徴とする請求項 43 に記載の圧電アクチュエータ。

15

45. 前記振動板に生じる縦振動の共振周波数よりも前記振動板に生じる屈曲振動の共振周波数が多いことを特徴とする請求項 43 に記載の圧電アクチュエータ。

20

46. 前記圧電素子を駆動する励振周波数は、前記振動板に生じる縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との間の周波数であることを特徴とする請求項 45 に記載の圧電アクチュエータ。

25

47. 前記圧電素子の振動によって前記振動板が長手方向に伸縮する縦振動が生じるようにし、この振動によって前記振動板が前記回転体から受ける反力によって、前記振動板の前記回転体と当接する前記端部が前記長手方向と直交する幅方向に弾性変形するようにしたことを特徴とする請求項 18 ないし 42 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

48. 前記支持部材の前記取付部は、前記振動板の長手方向の複数箇所に取り

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

付けられていることを特徴とする請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

5

49. 前記支持部材の前記取付部の 1 つは、前記振動板の振動の節となる位置に取り付けられていることを特徴とする請求項 48 に記載の圧電アクチュエータ。

10

50. 前記支持部材の前記取付部の位置を前記振動板の振動に伴う前記支持部材の振動の腹となる位置と略一致するようにしたことを特徴とする請求項 48 または 49 に記載の圧電アクチュエータ。

15

51. 前記支持部材における前記取付部は、前記振動板の振動の節となる位置に取り付けられていることを特徴とする請求項 1 ないし 47 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

20

52. 前記支持部材の前記取付部の位置を前記振動板の振動に伴う前記支持部材の振動の節となる位置と略一致するようにしたことを特徴とする請求項 51 に記載の圧電アクチュエータ。

25

53. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動

THIS PAGE BLANK (USPTO)



することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方方向に駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前

5 記縦振動時と逆方向に駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

#### 5 4. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

10 前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

15 前記振動板の長手方向の端部が駆動対象に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を一方方向に駆動し、

20 前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記駆動対象を前記縦振動時と逆方向に駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

#### 25 5 5. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

および前記平面外の方に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

56. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

表裏面を有し、当該表裏面と直交する方向を回転軸方向として前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面外の方に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の表面または裏面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

5 57. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、  
および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈  
10 曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を  
有する弾性部材であって、前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に  
当接するように前記振動板に弾性力を付与する支持部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動  
15 することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に  
回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲  
振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記  
縦振動時と逆方向に回転駆動する

20 ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

58. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

25 前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、  
および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈  
曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を  
有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

前記振動板の長手方向の端部が前記回転体の外周面に当接するように前記振動板に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に  
5 回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

10

#### 59. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持されるとともに、その回転軸が移動可能になされた回転体と、

15

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材と、

20

前記回転体の外周面が前記振動板の長手方向の端部に当接するように前記回転体に弾性力を付与する弾性部材とを具備しており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

25

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



60. 前記回転体の回転軸を回転自在に支持する回転部材と、

前記回転体と回転軸を共通し、前記回転体と一体となって回転する第1の歯車と、

前記第1の歯車と歯合する第2の歯車とをさらに具備し、

5 前記回転部材の回転中心と、前記回転体および前記第2の歯車の回転軸とをほぼ一直線上に配置し、

前記回転体と前記振動板の当接位置は、前記回転体の回転軸から前記直線と直交する方向にある

ことを特徴とする請求項59に記載の圧電アクチュエータ。

10

61. 前記回転体の回転負荷の増加に伴って、前記弾性部材が前記回転体を前記振動板の前記端部側に押圧する力が増加するようにしたことを特徴とする請求項59または60に記載の圧電アクチュエータ。

15 62. 支持体と、

長手方向を有する板状の圧電素子と補強部とが積層された振動板と、

外周面を有し、前記支持体に対して回転可能に支持される回転体と、

前記振動板の属する平面内で前記振動板を前記長手方向に振動させる縦振動、および前記平面内で前記振動板を前記長手方向と直交する幅方向に揺動させる屈曲振動とのいずれかを選択する選択手段と、

20

前記支持体に固定される固定部、および前記振動板に取り付けられる取付部を有し、前記振動板を前記支持体に支持する支持部材とを具備しており、

前記回転体は、その外周面を前記振動板の長手方向の端部に当接する位置に配置され、その弾性力をもって前記外周面を前記振動板の前記端部に押圧する弾性  
25 体から形成されており、

前記選択手段によって前記縦振動が選択された場合、前記振動板が前記縦振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を一方向に回転駆動し、

前記選択手段によって前記屈曲振動が選択された場合、前記振動板が前記屈曲

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

振動することにより、該振動による前記振動板の変位に伴って前記回転体を前記縦振動時と逆方向に回転駆動する

ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

- 5 63. 前記回転体の前記外周面には、凹面状の溝が形成されていることを特徴とする請求項57ないし62のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

64. 前記振動板の前記回転体に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記回転体に当接することを特徴とする請求項55ないし63のい  
10 ずれかに記載の圧電アクチュエータ。

65. 前記振動板は、1つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、前記振動板における切り欠かれた部分が前記回転体に当接することを特徴とする請求項55ないし64のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

15

66. 前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、曲面形状になされていることを特徴とする請求項55ないし65のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

- 20 67. 前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記回転体の回転軸方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項66に記載の圧電アクチュエータ。

68. 前記振動板の前記回転体と当接する前記端部は、前記振動板の幅方向から視た場合に、曲面形状になされていることを特徴とする請求項66または67  
25 に記載の圧電アクチュエータ。

69. 前記支持体は、前記回転体と前記振動板の両者を支持する単一の部材を有していることを特徴とする請求項55ないし68のいずれかに記載の圧電アク

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

チュエータ。

70. 前記振動板の前記駆動対象に当接する前記端部は、突起部を有しており、この突起部が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項53または54に記載の圧電アクチュエータ。

71. 前記振動板は、1つの頂点が切り欠かれた矩形状に形成されており、前記振動板における切り欠かれた部分が前記駆動対象に当接することを特徴とする請求項53または54に記載の圧電アクチュエータ。

10

72. 前記補強部は、前記圧電素子よりも薄く形成されていることを特徴とする請求項1ないし71のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

73. 前記圧電素子は、その面上に配置される電極部を有しており、  
15 前記電極部の厚さは、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であり、かつ前記補強部の厚さよりも小さいことを特徴とする請求項1ないし72のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

74. 前記圧電素子は、前記振動板の長手方向の中央部に配置される第1の電極部と、前記振動板の長手方向の両端側に配置される電極が設けられていない第1の無電極部とを有することを特徴とする請求項1ないし72のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

75. 前記圧電素子は、前記振動板の幅方向の中央部に配置される第2の電極部と、前記振動板の幅方向の両端側に配置される電極が設けられていない第2の無電極部を有することを特徴とする請求項1ないし72のいずれかに記載の圧電  
25 アクチュエータ。

76. 前記振動板は、積層配置される複数の前記圧電素子を有しており、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

それぞれ隣接する圧電素子の分極方向が逆方向であることを特徴とする請求項 1 ないし 75 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

77. 前記振動板は、積層配置される複数の前記圧電素子を有しており、

5     それぞれ隣接する圧電素子の分極方向が同一方向であることを特徴とする請求項 1 ないし 75 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

78. 前記補強部は導体であり、かつ前記圧電素子の上下にそれぞれ積層されており、

10     前記圧電素子の上下に積層された前記補強部を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項 1 ないし 77 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

79. 前記支持部材は導体であり、

15     前記支持部材を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項 1 ないし 78 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

80. 前記振動板の上下面にそれぞれ接触して前記振動板を挟み込む弾性導電体をさらに具備し、

20     前記弾性導電体を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項 1 ないし 79 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

81. 前記振動板の周囲に接触しながら巻き付けられる導線をさらに具備し、

25     前記導線を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする請求項 1 ないし 79 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

82. 圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電アクチュエータであって、

前記圧電素子の上下に積層され、導体から形成される補強部を備え、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



前記補強部を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電アクチュエータ。

83. 圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電  
5 アクチュエータであって、

支持体と、

導電体から形成され、前記圧電素子を前記支持体に支持する支持部材とを備え、  
前記支持部材を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電ア  
クチュエータ。

10

84. 圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧電  
アクチュエータであって、

前記圧電素子の上下面にそれぞれ接触して前記圧電素子を挟み込む弾性導電体  
を備え、

15 前記弾性導電体を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電  
アクチュエータ。

85. 圧電素子を有し、前記圧電素子の振動によって駆動対象を駆動する圧ア  
クチュエータであって、

20 前記圧電素子の周囲に接触しながら巻き付けられる導線を備え、

前記導線を介して前記圧電素子に電力を供給することを特徴とする圧電アク  
チュエータ。

86. 請求項1ないし85のいずれかに記載の圧電アクチュエータと、

25 前記圧電アクチュエータによって回転駆動されるリング状のカレンダー表示車  
と

を具備することを特徴とする時計。

87. 請求項1ないし85のいずれかに記載の圧電アクチュエータと、

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

前記圧電アクチュエータに電力を供給する電池と  
を具備することを特徴とする携帯機器。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

1/30

図 1

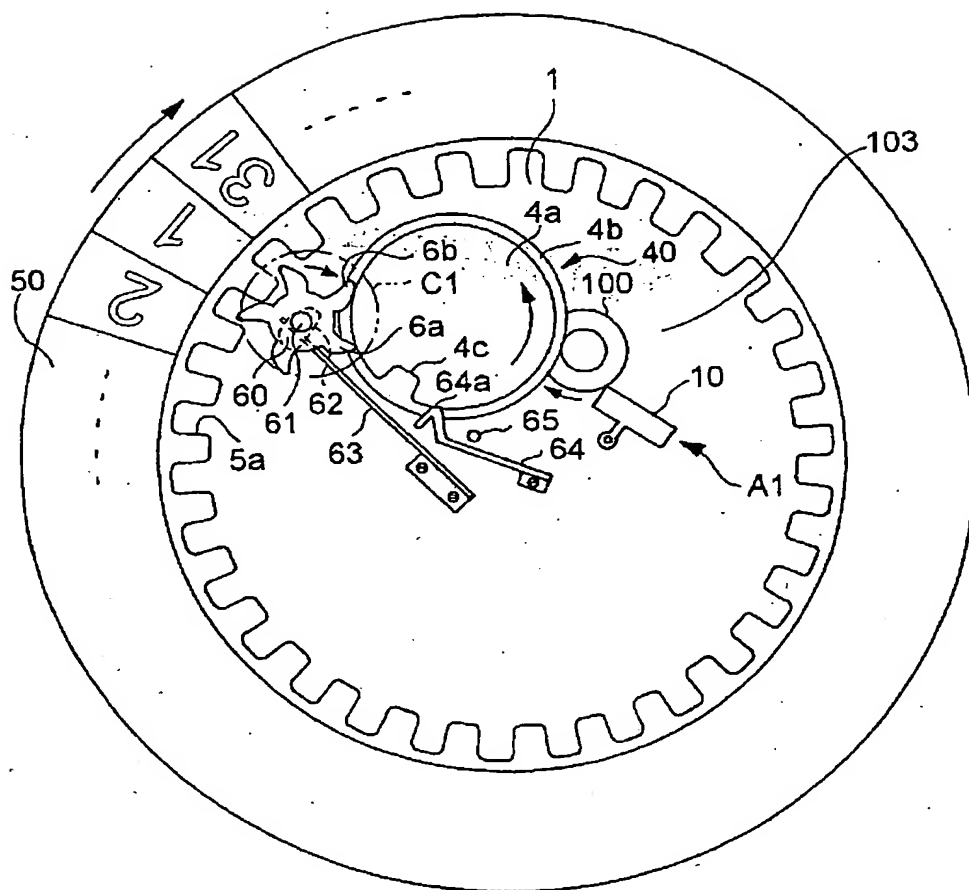
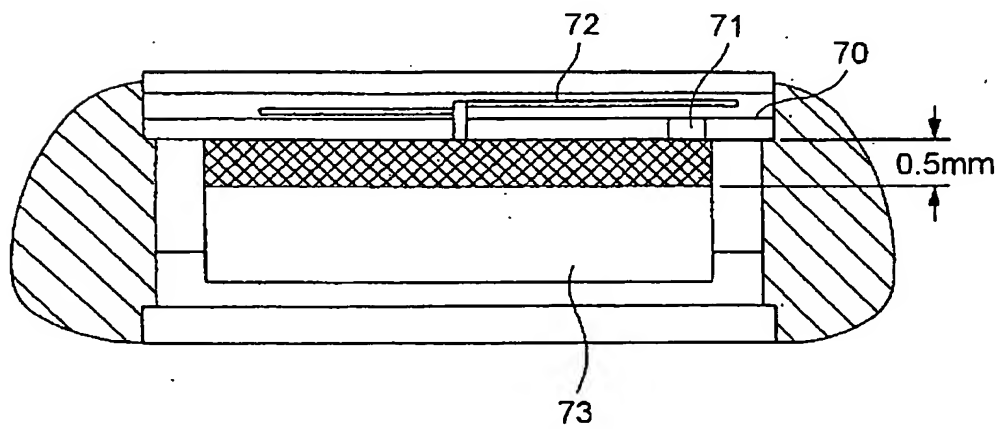
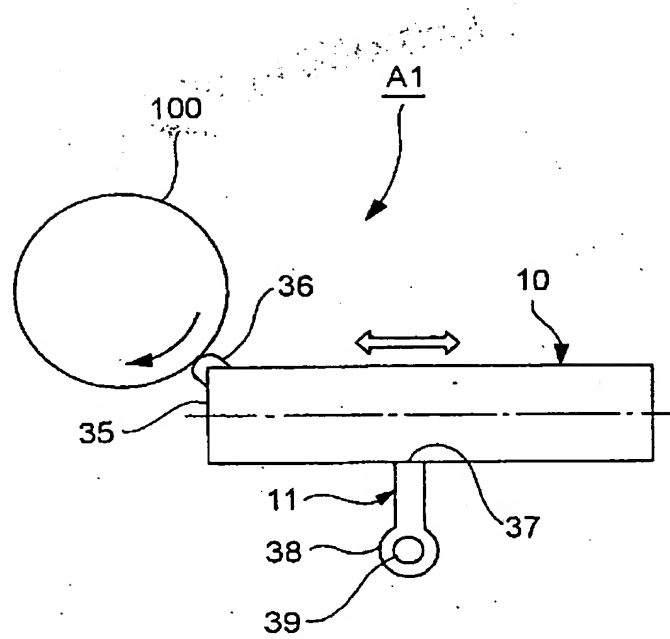


図 2



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 3

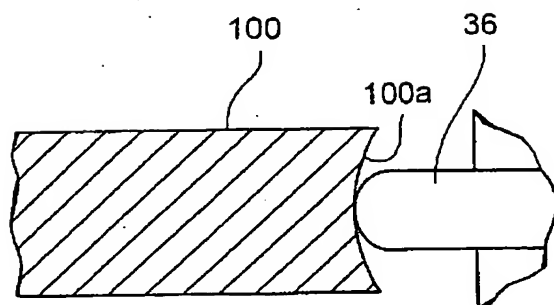


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

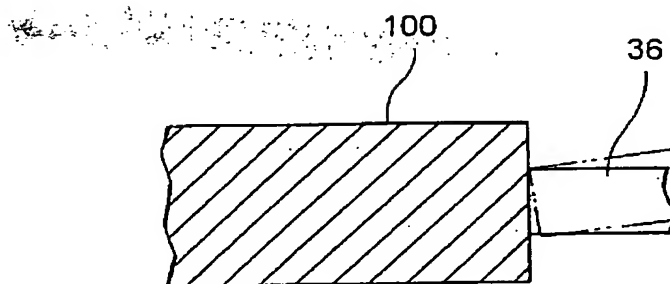


3/30

図 4

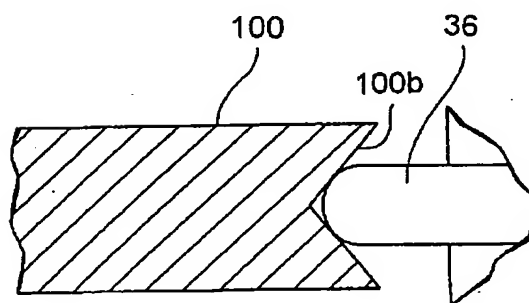


(a)



(b)

図 5



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

4/30

図 6

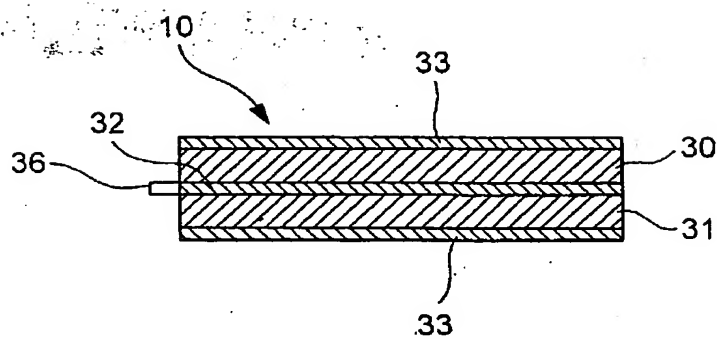
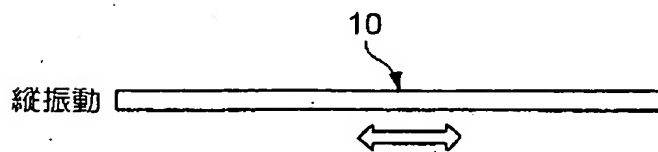


図 7



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

5/30

図 8

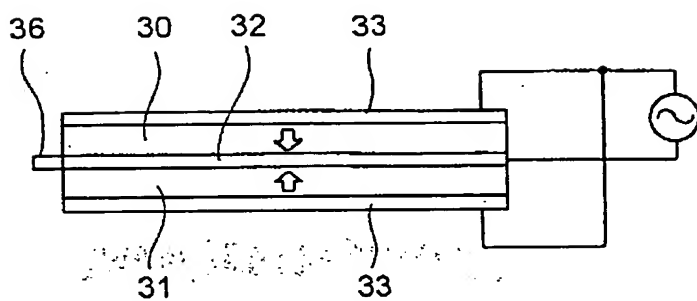


図 9

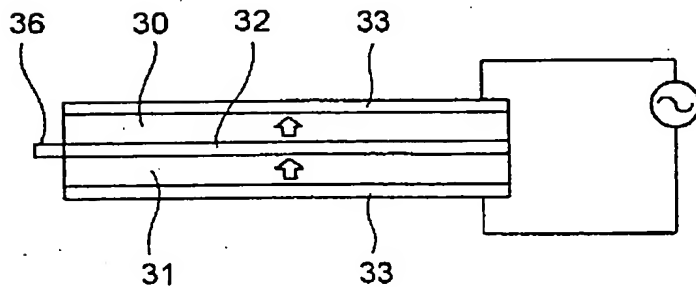
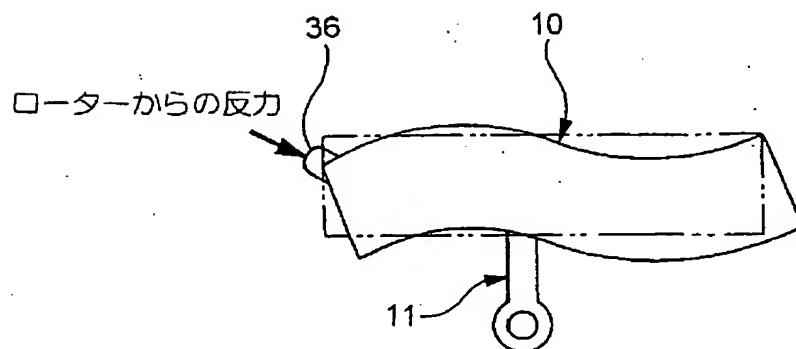


図 10



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

6/30

図 11

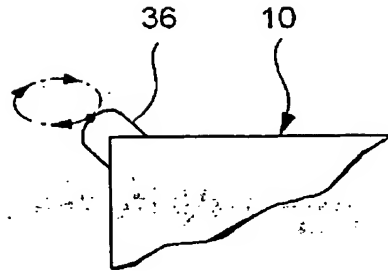
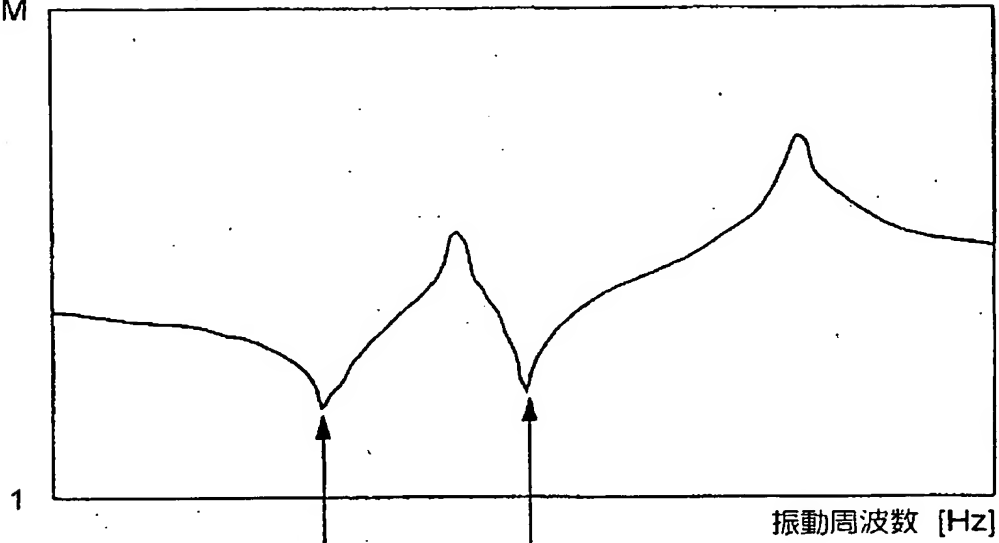


図 12

インピーダンス  
[Ω]  
1M  
1



縦振動の極小値

284.3kHz

屈曲振動の極小値

288.6 kHz

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



7/30

図 13

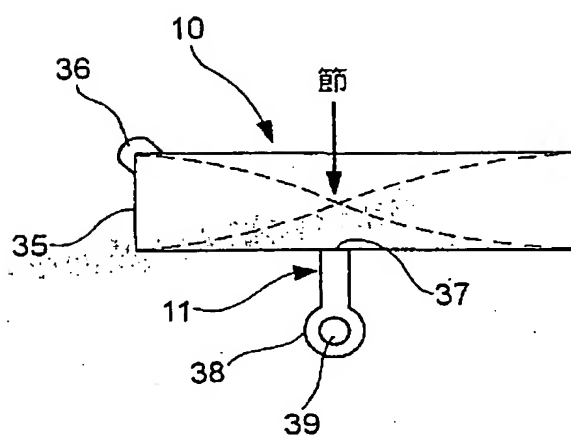
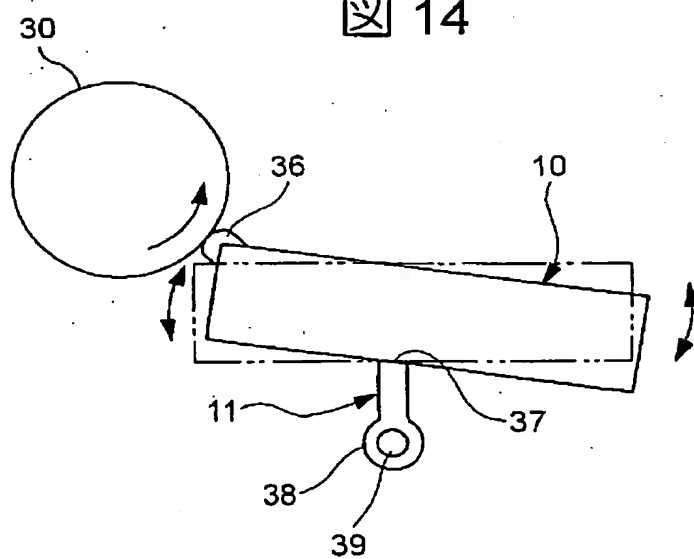


図 14



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 15

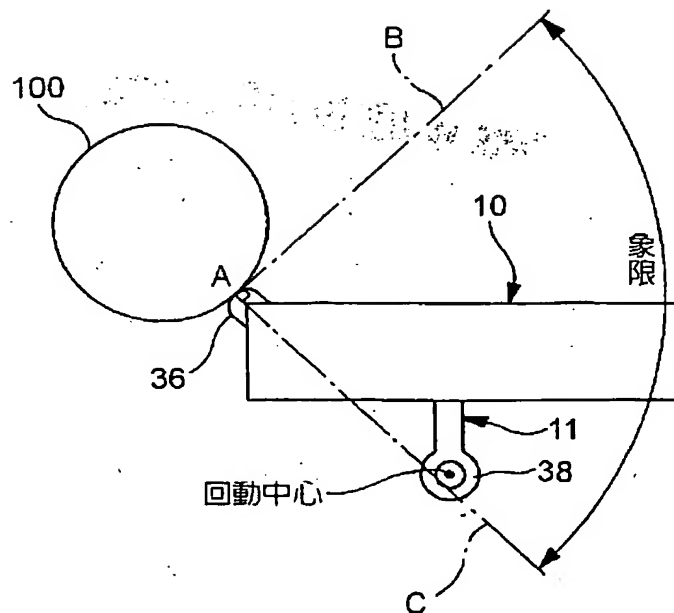
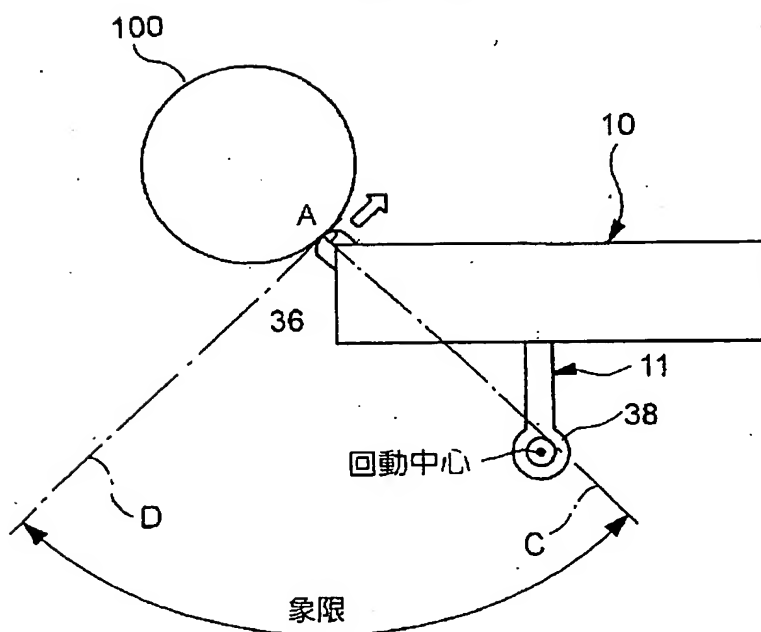
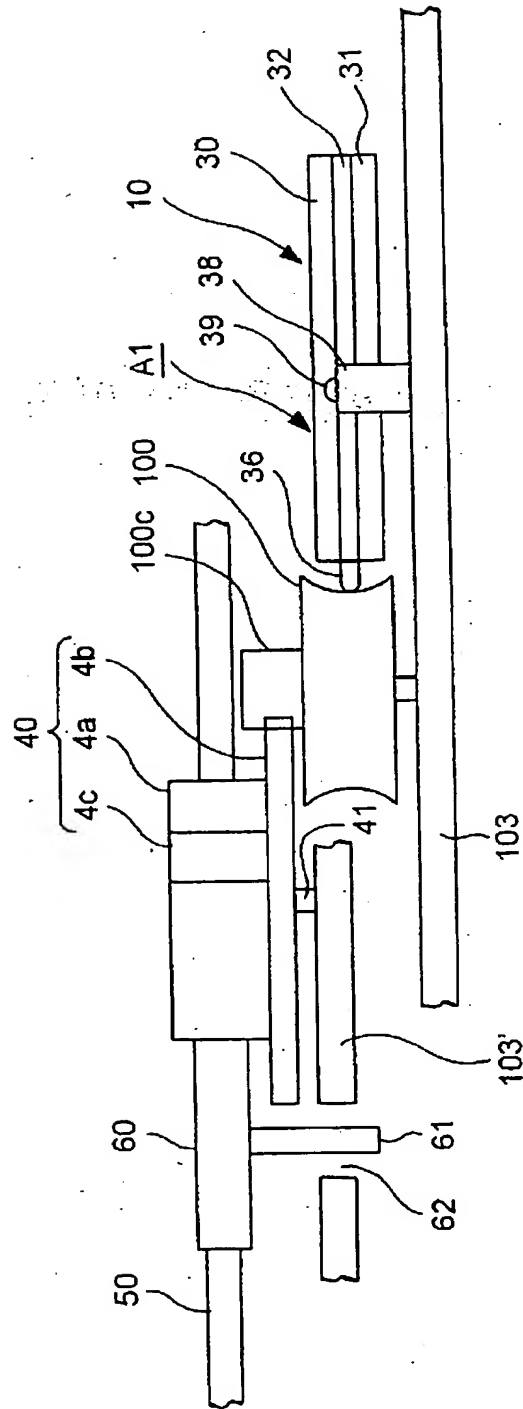


図 16



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 17



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

10/30

図 18

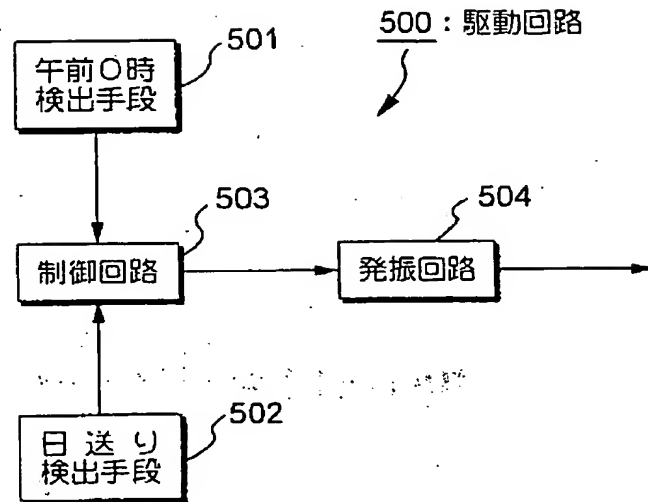
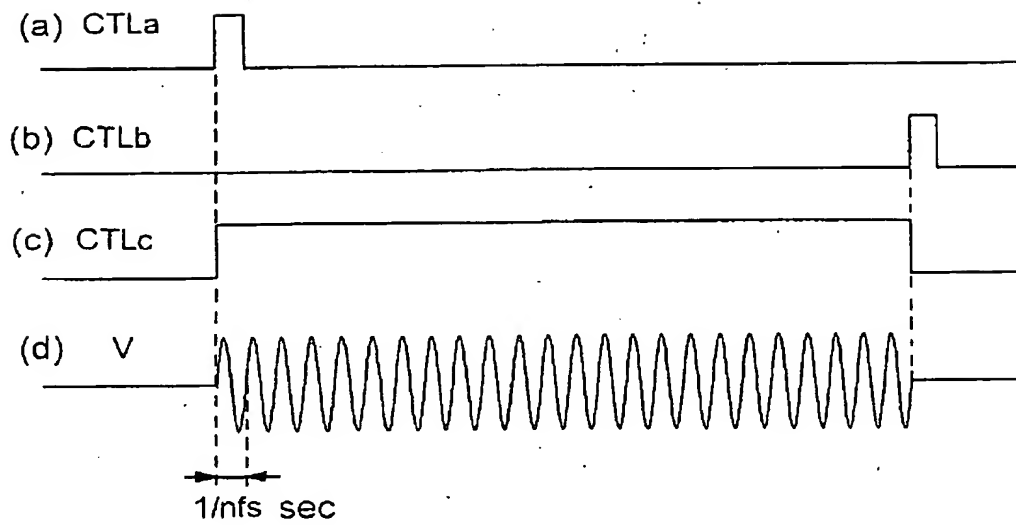


図 19



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



11/30

図 20

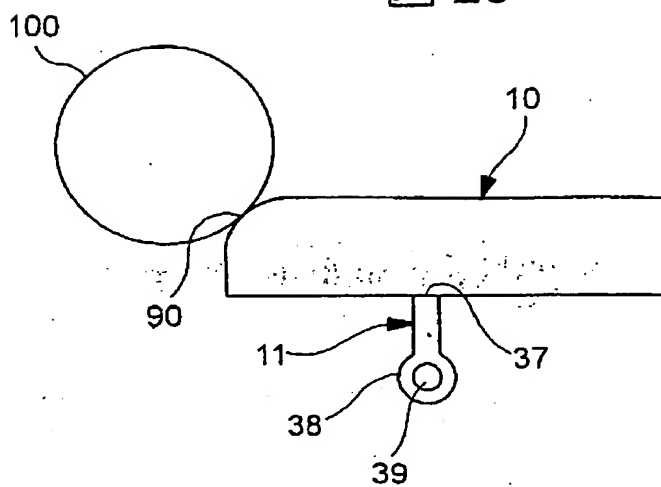


図 21

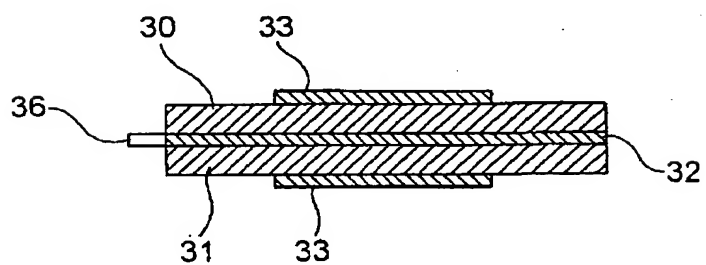
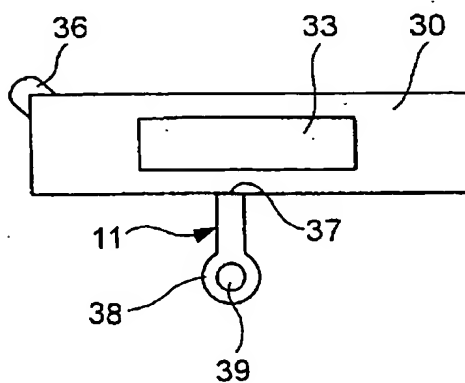


図 22



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

12/30

図 23

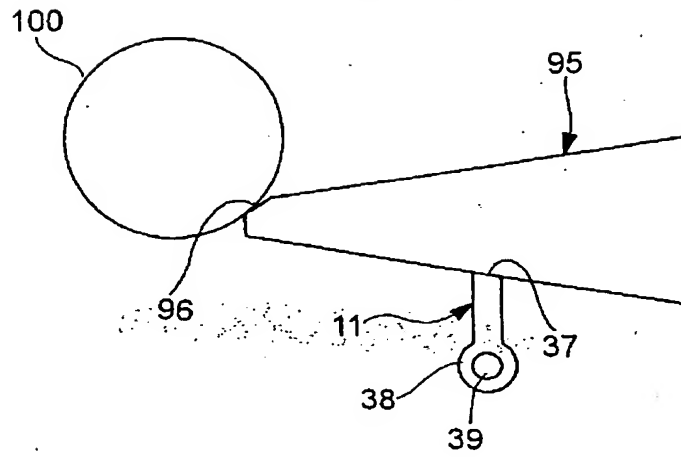


図 24

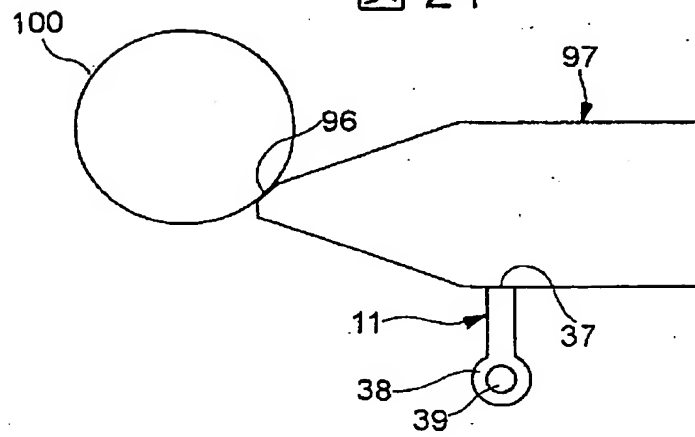
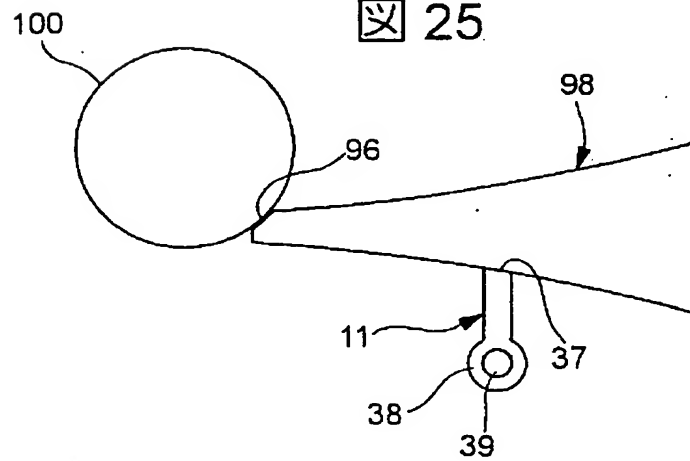


図 25



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

13/30

図 26

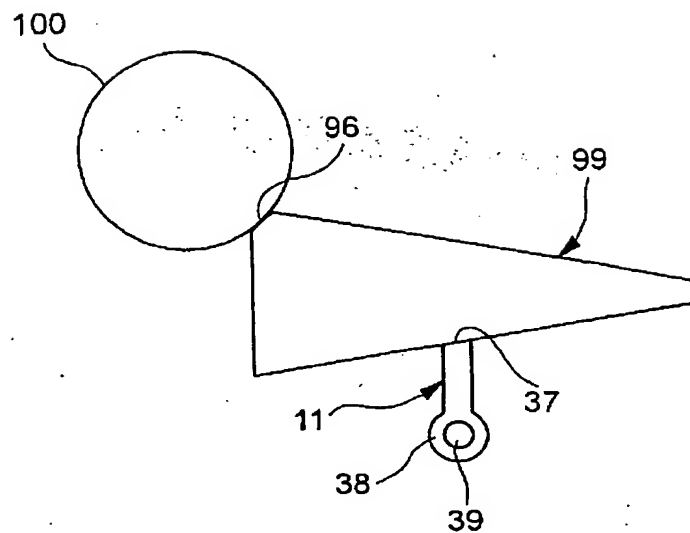
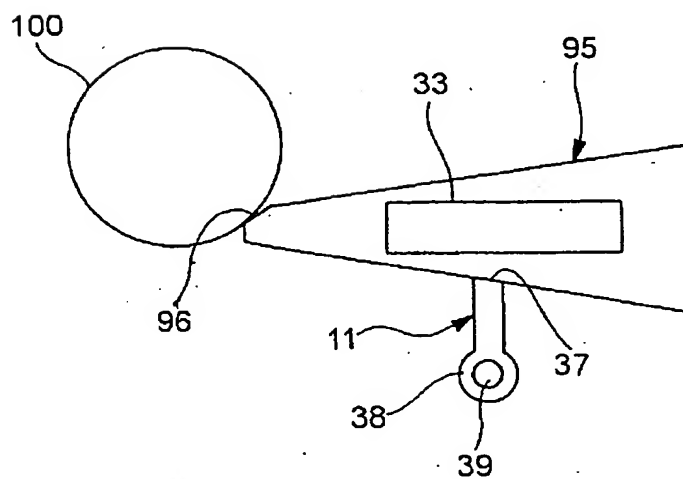


図 27



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 28

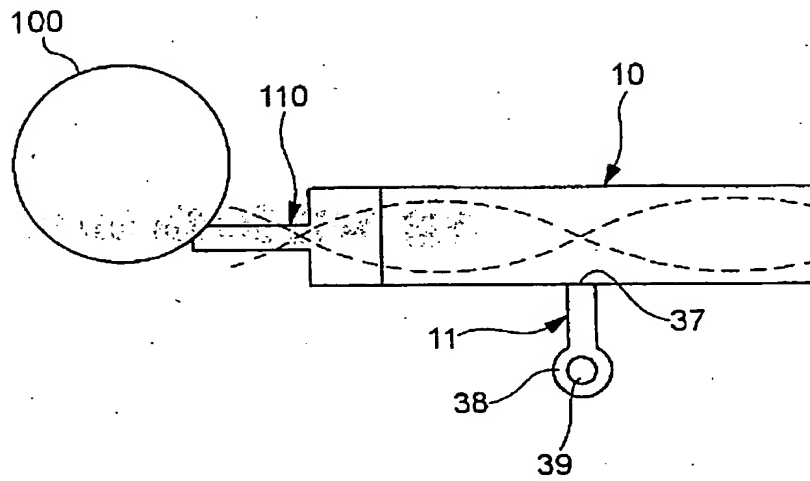
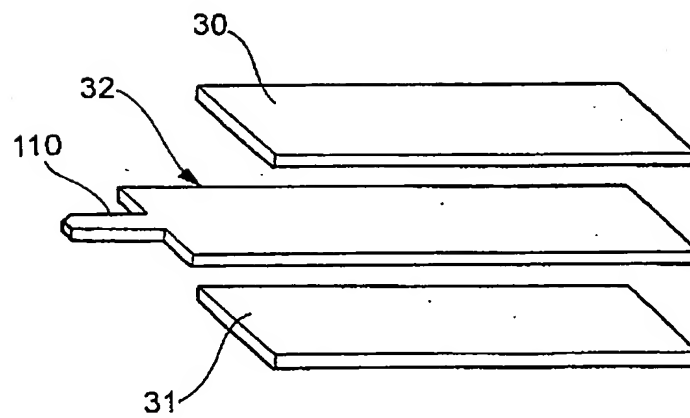


図 29



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



15/30

図 30

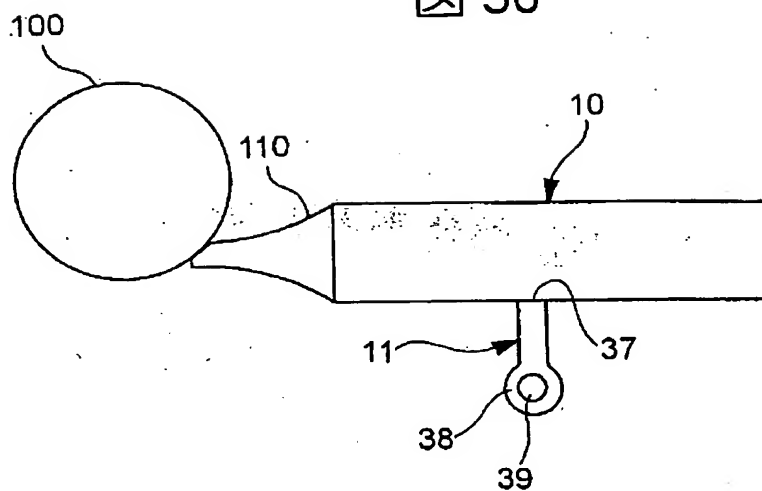
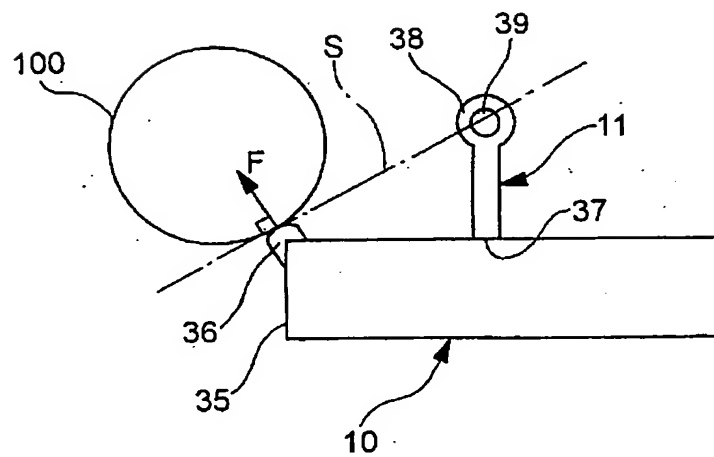


図 31



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

16/30

図 32

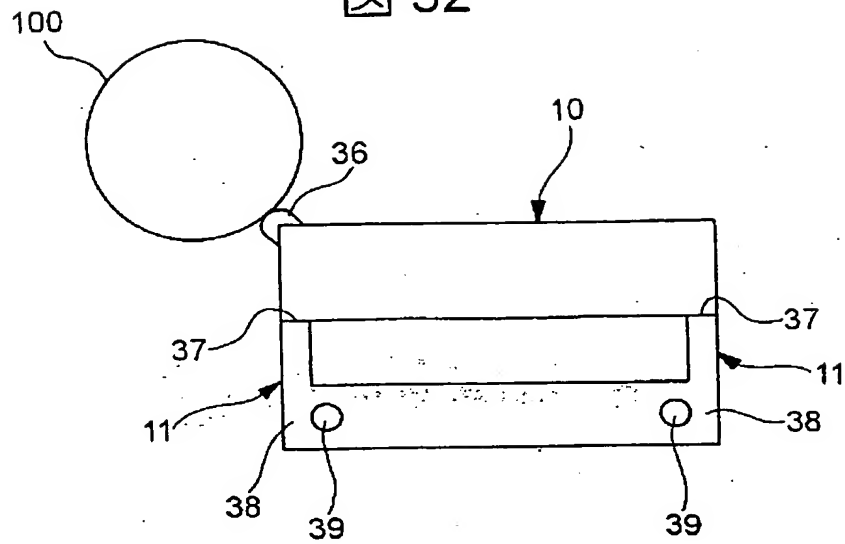
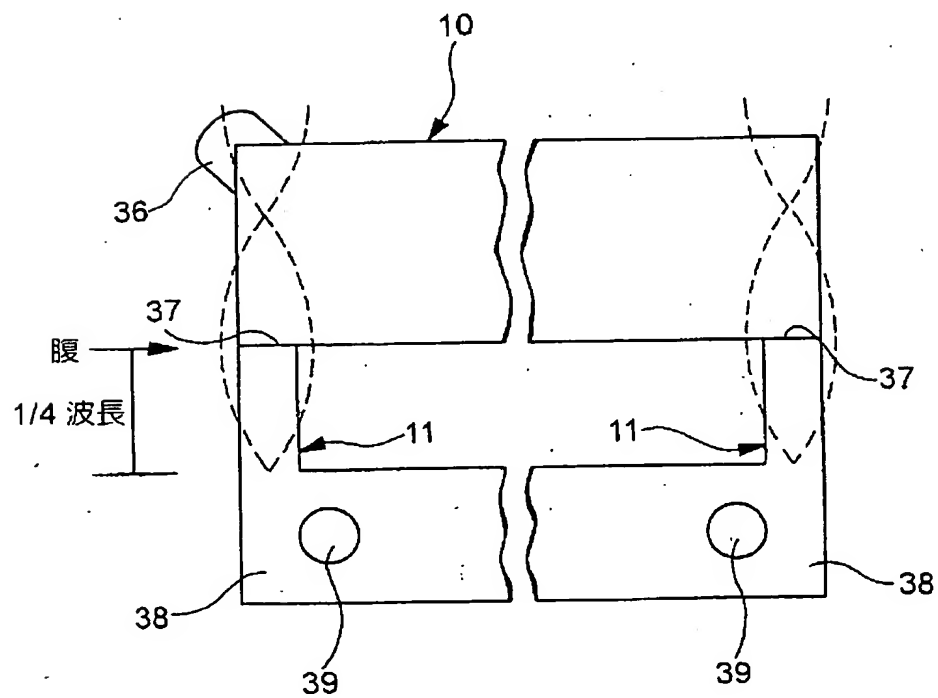


図 33



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

17/30

図 34

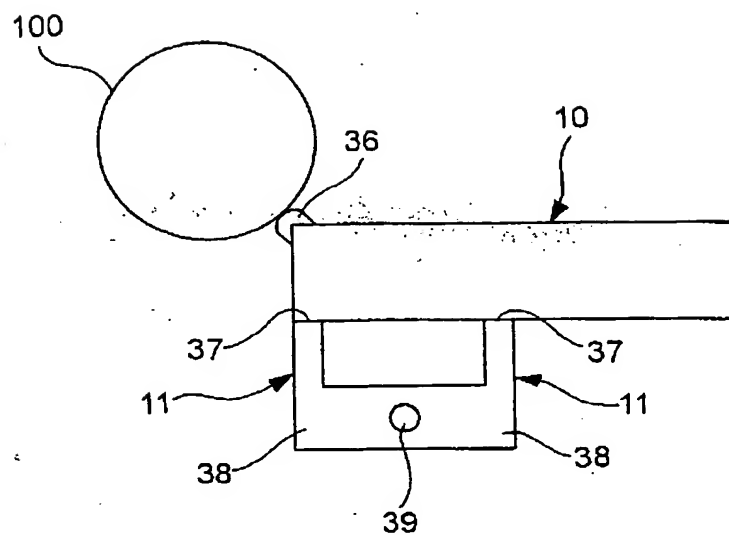
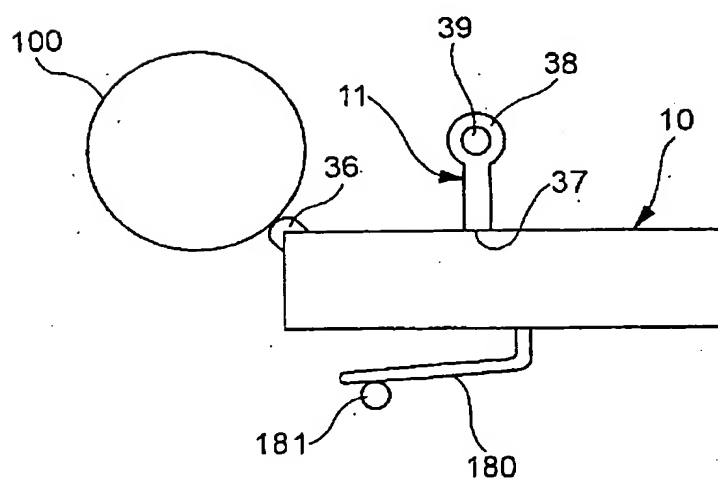


図 35



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 36

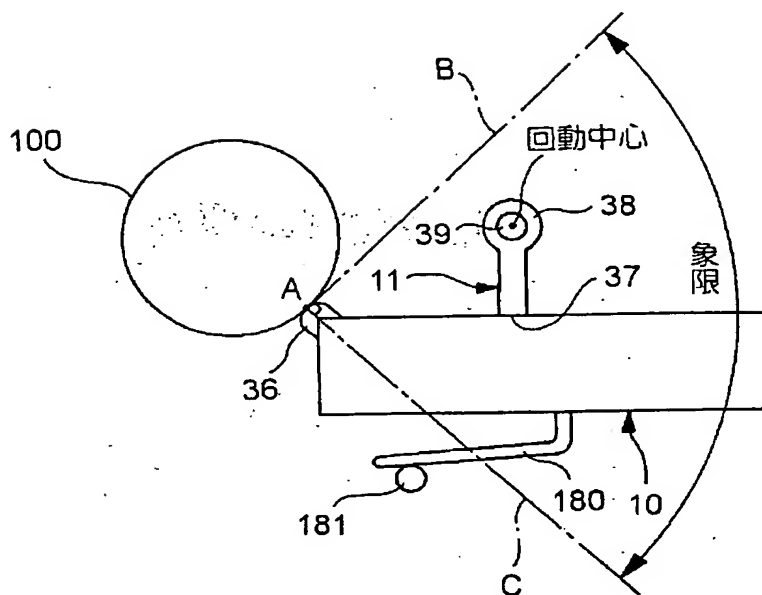
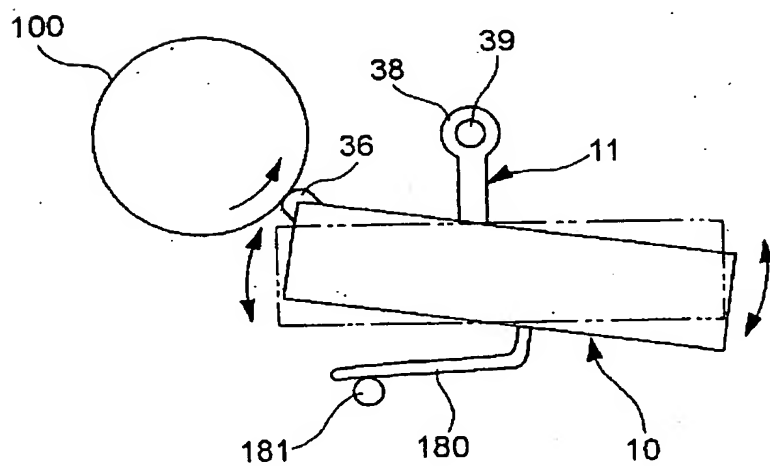


図 37



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



19/30

図 38

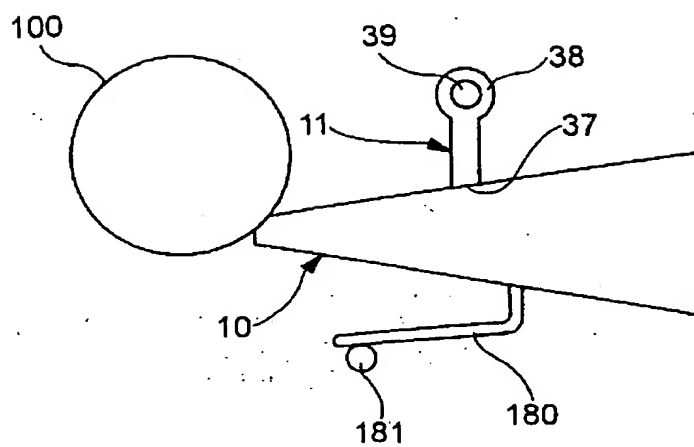
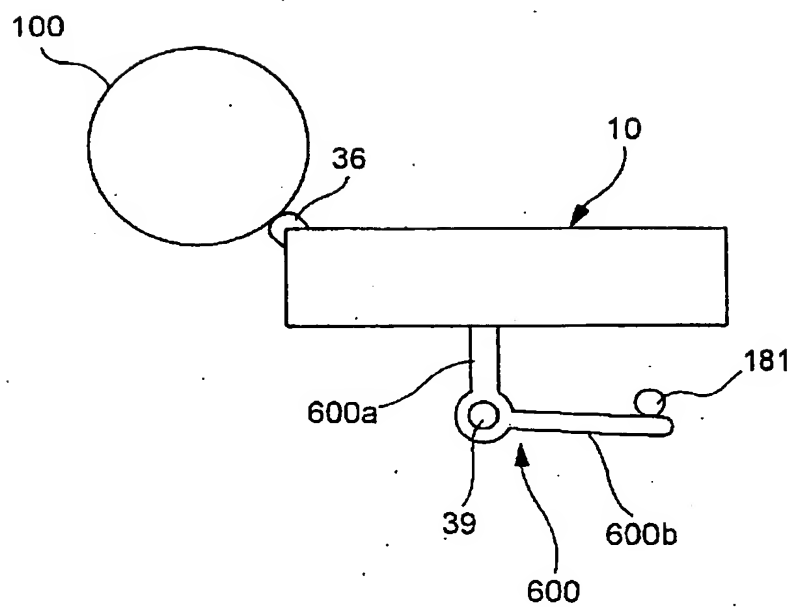


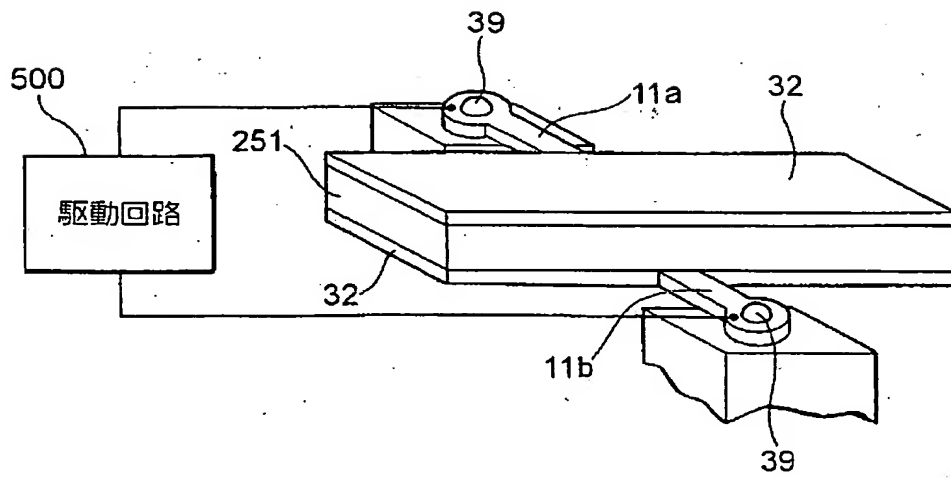
図 39



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

20/30

図 40



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 41

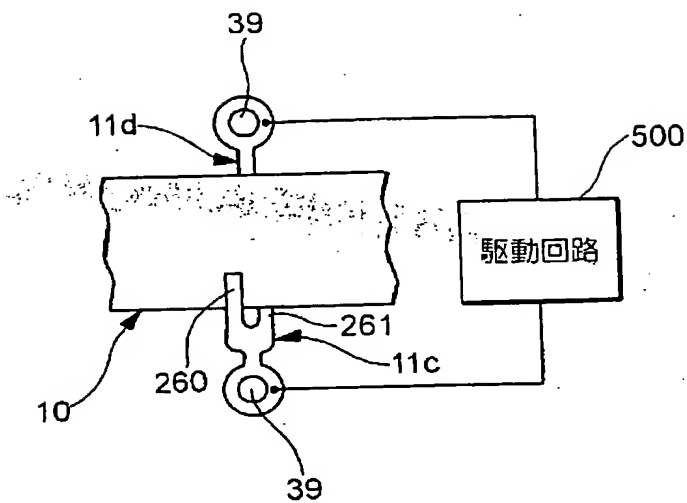
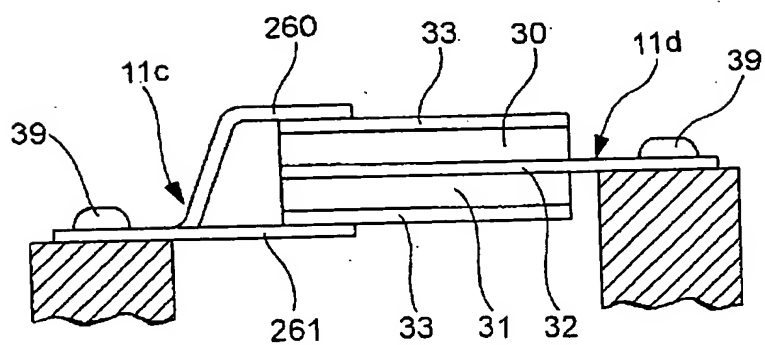


図 42



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

22/30

図 43

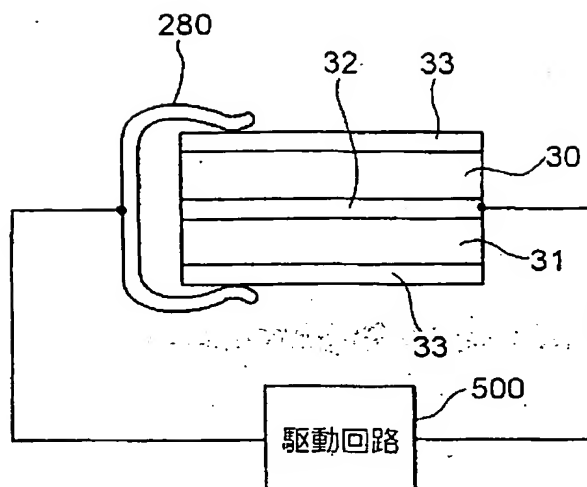


図 44

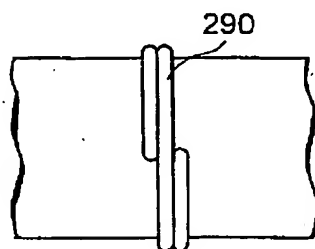
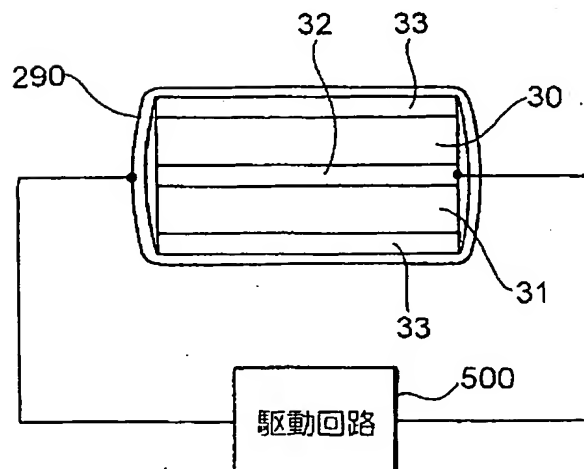


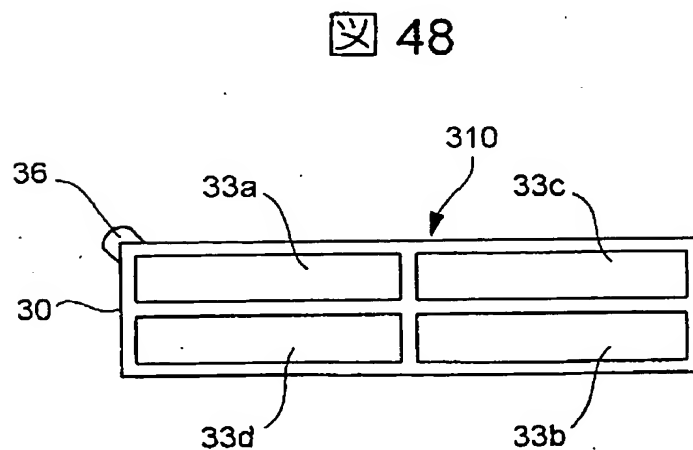
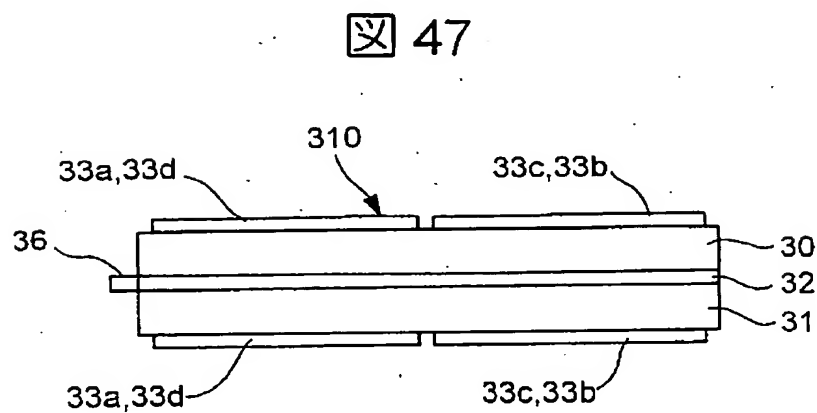
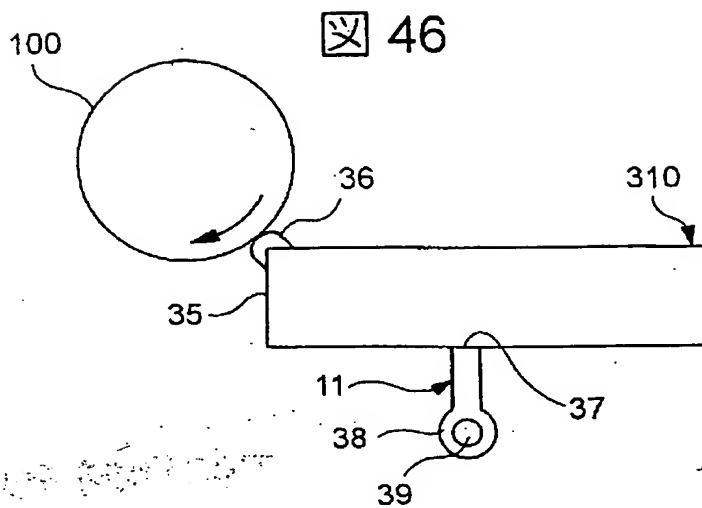
図 45



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



23/30



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

24/30

図 49

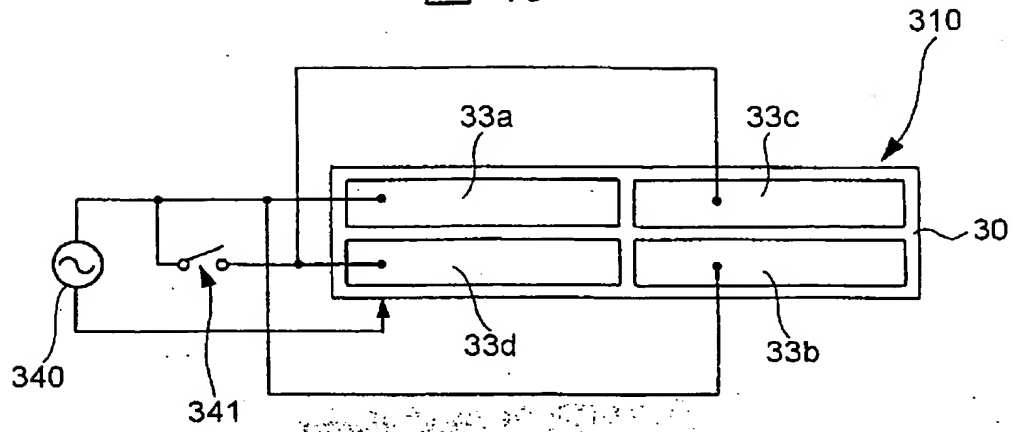
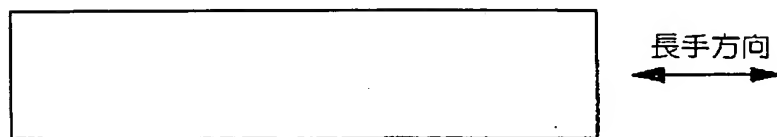
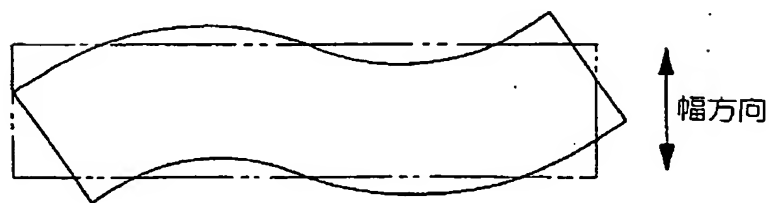


図 50



(a) 縦振動



(b) 屈曲振動

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 51

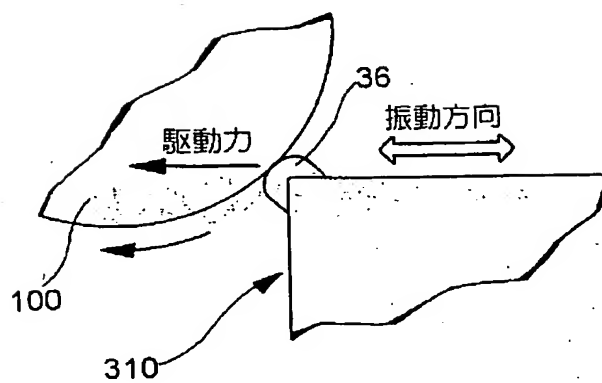
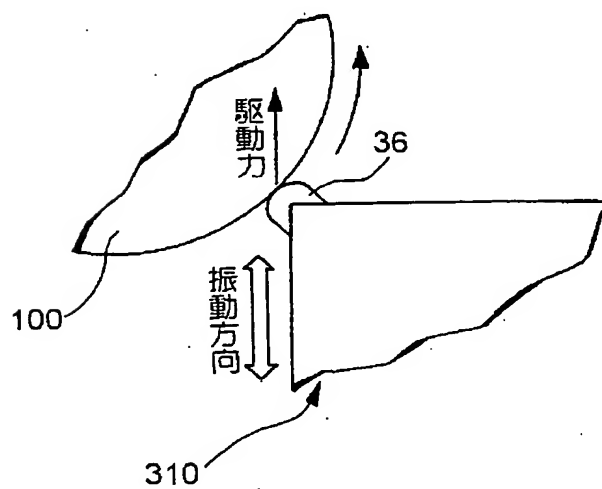
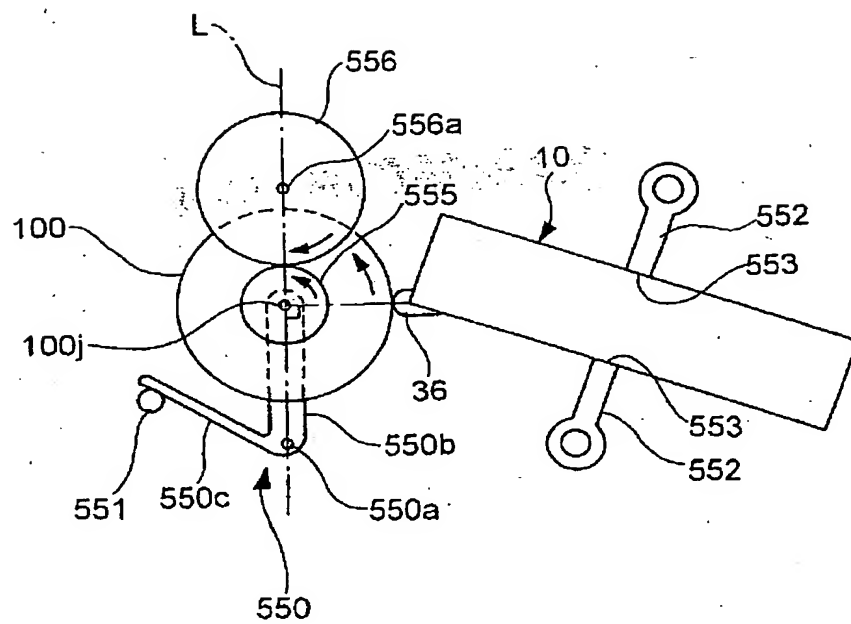


図 52



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 53



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



図 54

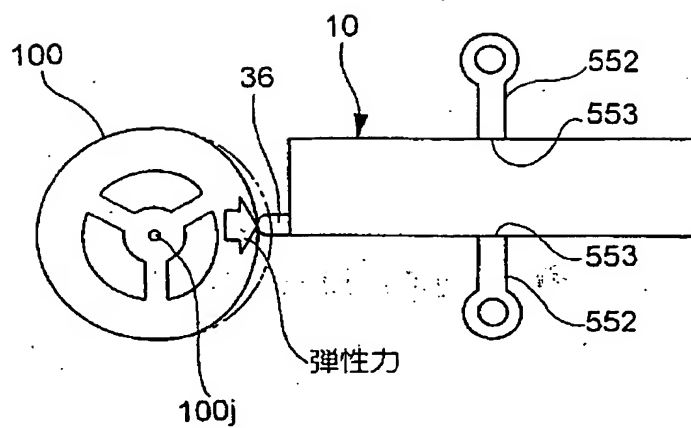
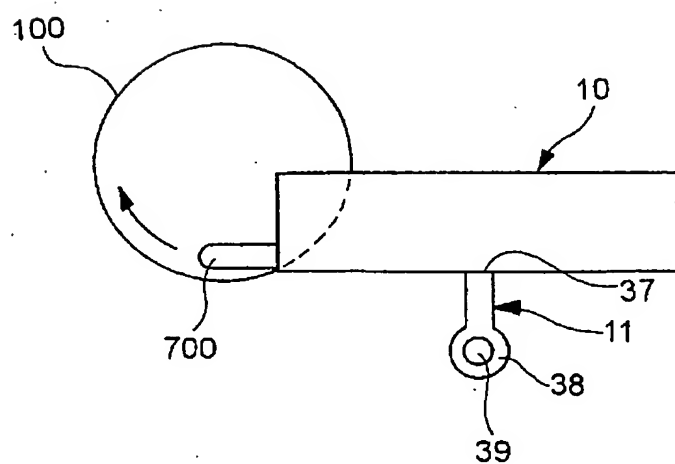


図 55



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

28/30

図 56

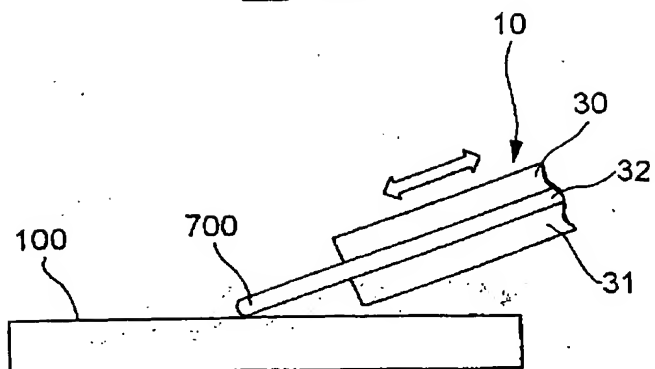
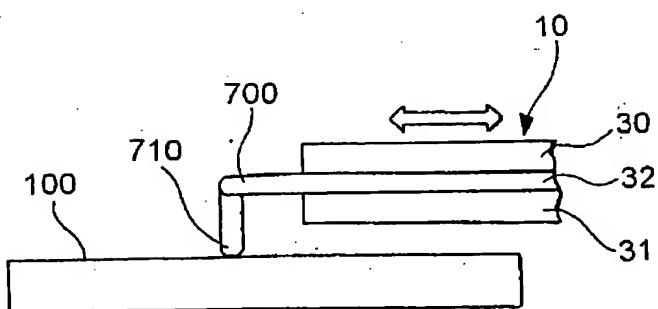


図 57



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

29/30

図 58

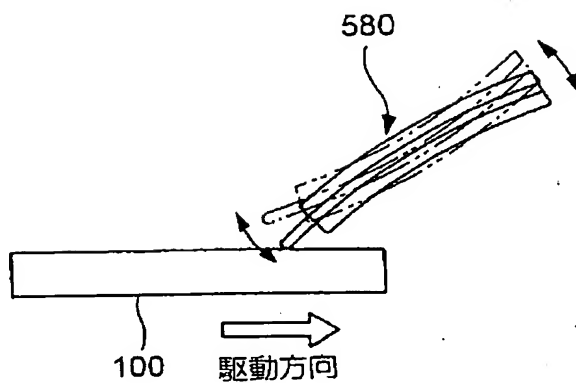
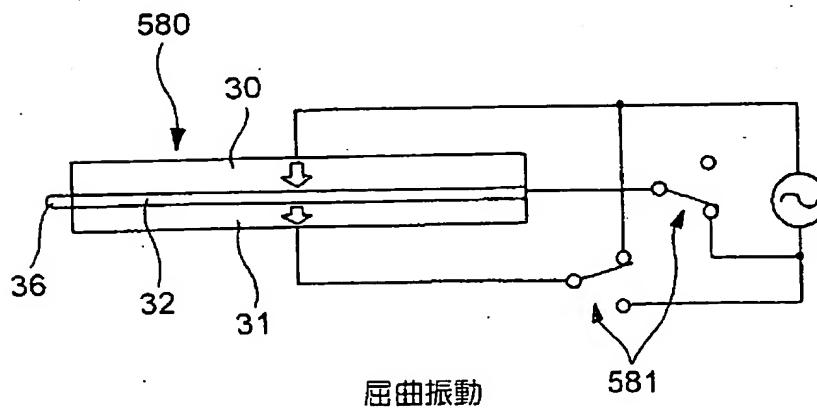
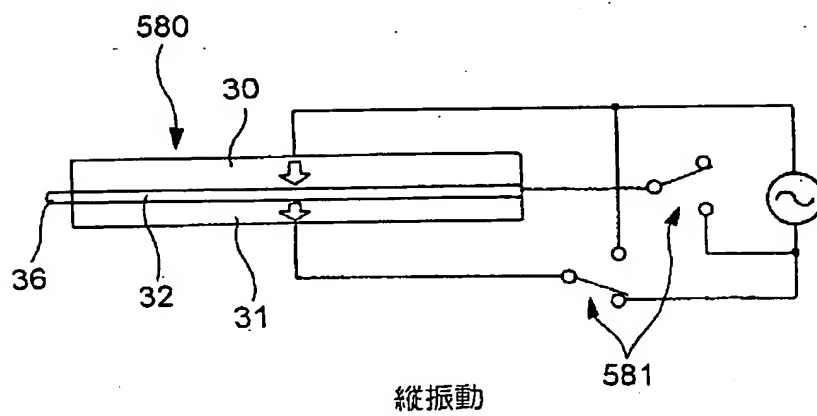


図 59



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

30/30

図 60

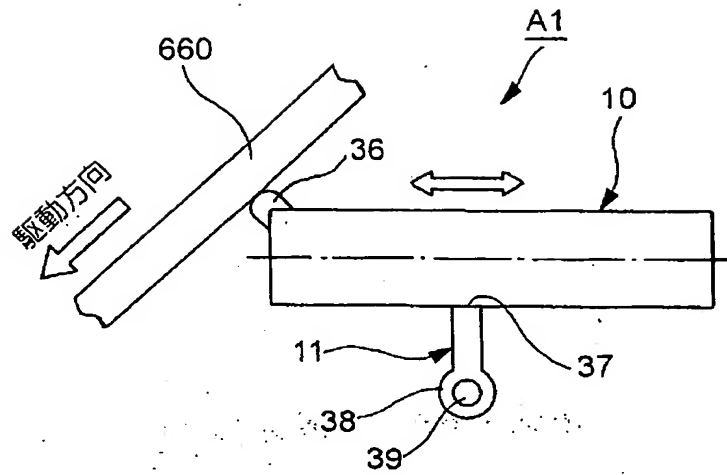
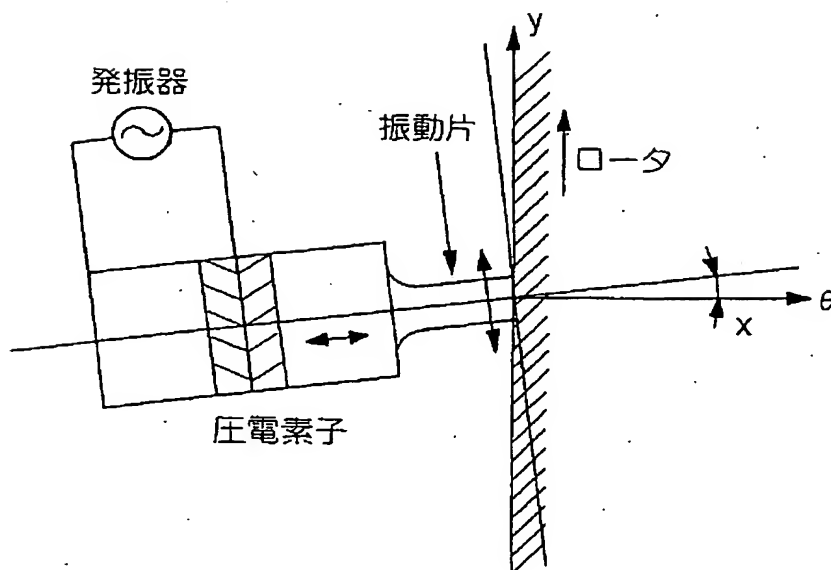


図 61



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/04877

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>6</sup> H02N 2/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>6</sup> H02N 2/00Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 62-239876, A (Nippon Soken Inc.), 20 October, 1987 (20.10.87), Full text (Family: none)	1-87
Y	JP, 54-34010, A (Seiko Instr. & Electronics Ltd.), 13 March, 1979 (13.03.79), Full text (Family: none)	1-87
A	JP, 8-275558, A (FANUC LTD), 18 October, 1996 (18.10.96), Full text (Family: none)	7-10, 33-40, 64-71
A	JP, 3-11983, A (NEC Corporation), 21 January, 1991 (21.01.91), Full text & JP, 2-847758, B2	13-17, 43-47, 53-62
A	JP, 63-118591, U (Casio Computer Co, Ltd.), 01 August, 1988 (01.08.88), Full text (Family: none)	18-21, 55-56
A	JP, 10-327589, A (Seiko Instruments Inc.),	26-29, 31-32

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "B" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
12 October, 1999 (12.10.99)Date of mailing of the international search report  
24 November, 1999 (24.11.99)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/04877

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	08 December, 1998 (08.12.98), Full text & EP, 880185, A2	
A	JP, 5-2594, U (OMRON CORPORATION), 14 January, 1993 (14.01.93), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 5-3688, A (OMRON CORPORATION), 08 January, 1993 (08.01.93), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 4-145879, A (OMRON CORPORATION), 19 May, 1992 (19.05.92), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 4-129942, A (OMRON CORPORATION), 30 April, 1992 (30.04.92), Full text (Family: none)	53-77
A	JP, 63-294281, A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 30 November, 1988 (30.11.88), Full text & JP, 3-048517, B4	48-52
BA	JP, 11-52075, A (SEIKO EPSON CORPORATION), 26 February, 1999 (26.02.99), Full text (Family: none)	1-87

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP99/04877

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>8</sup> H02N 2/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>8</sup> H02N 2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996  
 日本国公開実用新案公報 1971-1999  
 日本国登録実用新案公報 1994-1999  
 日本国実用新案登録公報 1996-1999

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP、62-239876、A (株式会社日本自動車部品総合研究所)、 20. 10月. 1987 (20. 10. 87)、 全頁 (ファミリーなし)	1-87
Y	JP、54-34010、A (株式会社第二精工舎)、 13. 3月. 1979 (13. 03. 79)、 全頁 (ファミリーなし)	1-87
A	JP、8-275558、A (ファナック株式会社)、 18. 10月. 1996 (18. 10. 96)、 全頁 (ファミリーなし)	7-10, 33-40, 64-71

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12. 10. 99

国際調査報告の発送日

24.11.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

下原 浩嗣

3V

9179

電話番号 03-3581-1101 内線 3356

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP、 3-11983、 A (日本電気株式会社)、 21. 1月. 1991 (21. 01. 91)、全頁 & JP、 2-847758、 B2	13-17, 43-47, 53-62
A	JP、 63-118591、 U (カシオ計算機株式会社)、 1. 8月. 1988 (01. 08. 88)、 全頁 (ファミリーなし)	18-21, 55-56
A	JP、 10-327589、 A (セイコーインスツルメンツ株式会社)、 8. 12月. 1998 (08. 12. 98)、全頁 & EP、 880185、 A2	26-29, 31-32
A	JP、 5-2594、 U (オムロン株式会社)、 14. 1月. 1993 (14. 01. 93)、 全頁 (ファミリーなし)	53-77
A	JP、 5-3688、 A (オムロン株式会社)、 8. 1. 1993 (08. 01. 93)、 全頁 (ファミリーなし)	53-77
A	JP、 4-145879、 A (オムロン株式会社)、 19. 5月. 1992 (19. 05. 92)、 全頁 (ファミリーなし)	53-77
A	JP、 4-129942、 A (オムロン株式会社)、 30. 4月. 1992 (30. 04. 92)、 全頁 (ファミリーなし)	53-77
A	JP、 63-294281、 A (松下電工株式会社)、 30. 11月. 1988 (30. 11. 88)、全頁 & JP、 3-048517、 B4	48-52
EA	JP、 11-52075、 A (セイコーエプソン株式会社)、 26. 2月. 1999 (26. 02. 99)、 全頁 (ファミリーなし)	1-87

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## DESCRIPTION

### PIEZOELECTRIC ACTUATOR, TIMEPIECE, AND PORTABLE DEVICE

#### Technical Field

5

The present invention relates to a piezoelectric actuator, and to a timepiece and a portable device including the piezoelectric actuator.

#### 10 Background Art

Since piezoelectric elements have excellent responsiveness and conversion efficiency from electrical energy to mechanical energy, various types of piezoelectric  
15 actuators utilizing the piezoelectric effect of piezoelectric elements have been developed in recent years. The piezoelectric actuators have been applied to the fields of piezoelectric buzzers, ink-jet heads of printers, and ultrasonic motors.

20 Fig. 61 is a plan view schematically showing an ultrasonic motor using a conventional piezoelectric actuator. As shown in the figure, the ultrasonic motor of this type is called a poking type in which a rotor surface is slightly inclined and brought into contact with a tip of a vibrating  
25 piece connected to a piezoelectric element. In such a

construction, when the piezoelectric element is expanded and contracted by an alternating voltage from an oscillator, and the vibrating piece reciprocates in a longitudinal direction, a force component is generated in a circumferential direction of the rotor and the rotor is rotated.

In addition, a technique has been known in which two ultrasonic vibrators (piezoelectric elements) are included, the ultrasonic vibrators vibrate with their own electrical resonance frequencies, and a vibrating piece is displaced by the vibration (Japanese Unexamined Application Publication No. 10-25151).

However, while the displacement of the piezoelectric element depends on the applied voltage, it is very small, usually about sub-micron, and this also applies to a case where the piezoelectric element vibrates with the above-described resonance frequency. For this reason, the displacement is amplified by a certain amplification mechanism, and is transmitted to the rotor. When the amplification mechanism is used, however, energy is consumed to operate the amplification mechanism, efficiency is lowered, and the size of an apparatus increases. In addition, when the amplification mechanism is used, it may be difficult to stably transmit a driving force to the rotor.

In addition, since a small portable device, such as a wristwatch, is driven by a battery, it is necessary to lower

the power consumption and the drive voltage. Therefore, when a piezoelectric actuator is incorporated into such a portable device, it is particularly required that the energy efficiency be high and the drive voltage be low.

5       Incidentally, in a calendar display mechanism for displaying the date, the day, and so forth in a timepiece or the like, it is common for the rotational driving force from an electromagnetic stepping motor to be intermittently transmitted to a date indicator or the like via a watch-  
10   hand-driving wheel train so as to advance the date indicator or the like. On the other hand, since the wristwatch is carried by being strapped on a wrist, a reduction in thickness for convenience of carrying has long been demanded. In order to pursue the reduction in thickness, it is also  
15   necessary to reduce the thickness of the calendar display mechanism. However, since the stepping motor is constructed by incorporating parts, such as a coil and a rotor, thereinto in an out-of-plane direction, the reduction in thickness of the calendar display mechanism is limited. For  
20   this reason, there is a problem in that the conventional calendar mechanism using the stepping motor is not structurally suited for reducing the thickness.

      In particular, in order to share a mechanical system (a so-called movement) between a timepiece with a calendar  
25   display mechanism and a timepiece without such a display

mechanism, it is necessary to construct the calendar display mechanism on the side of a dial. However, it is difficult for an electromagnetic stepping motor to achieve a reduction in thickness to such an extent that the calendar mechanism  
5 can be constructed on the side of the dial. Therefore, it is necessary for a conventional timepiece to be manufactured by separately designing watch-hand-driving mechanical systems according to whether there is a display mechanism, and this becomes a problem when improving the productivity  
10 thereof.

The present invention is made in consideration of the foregoing circumstances, and an object is to provide a piezoelectric actuator that facilitates a reduction in size by simplifying conductive construction, and to provide a  
15 timepiece and a portable device including the same. In addition, it is an object to provide a piezoelectric actuator that is able to efficiently transmit vibrations of a piezoelectric element, that is suited for a reduction in size and thickness, and that is able to stably transmit a  
20 driving force, and to provide a timepiece and a portable device including the same.

#### Disclosure of Invention

25 According to the present invention, there is provided a

piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion  
5 fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the  
10 longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is  
15 provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate,  
20 and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the  
25 longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating

plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; a support member having a fixing portion  
5 fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against the  
10 front surface or the back surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the  
15 vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
20 a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate  
25 so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts

against the outer peripheral surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame;



a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, rotationally supported on the base frame, a rotating shaft thereof being movable; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against the longitudinal end of the vibrating plate; wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on a position where the

outer peripheral surface thereof abuts against the longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof; and wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

10 In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the

selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the  
5 bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the object to be driven is driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due  
10 to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
15 a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to  
20 the longitudinal direction within the plane; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an  
25 elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating

plate abuts against an object to be driven; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the object to be driven is driven in one direction  
5 in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the object to be driven is driven in the direction opposite to the direction  
10 during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like  
15 piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; a selection means for selecting either a  
20 longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction; and a support member, which is an elastic member, having a  
25 fixing portion fixed to the base frame and a mounting

portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor; wherein, 5 when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is 10 selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

15 In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having front and back surfaces, and rotationally 20 supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the 25 vibrating plate belongs, or a bending vibration for

vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction;  
a support member having a fixing portion fixed to the base  
frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate,  
and supporting the vibrating plate on the base frame; and an  
5 elastic member for providing an elastic force to the  
vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating  
plate abuts against the front surface or the back surface of  
the rotor; wherein, when the longitudinal vibration is  
selected by the selection means, the vibrating plate causes  
10 the longitudinal vibration, whereby the rotor is  
rotationally driven in one direction in accordance with the  
displacement of the vibrating plate due to the vibration,  
and wherein, when the bending vibration is selected by the  
selection means, the vibrating plate causes the bending  
15 vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the  
direction opposite to the direction during the longitudinal  
vibration in accordance with the displacement of the  
vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is  
20 provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame;  
a vibrating plate in which a longitudinal plate-like  
piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally  
supported on the base frame; a selection means for selecting  
25 either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating

plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and a support member, which is an elastic member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally

supported on the base frame; a selection means for selecting  
either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating  
plate in the longitudinal direction within a plane to which  
the vibrating plate belongs, or a bending vibration for  
5 vibrating the vibrating plate in the widthwise direction  
perpendicular to the longitudinal direction within the  
plane; a support member having a fixing portion fixed to the  
base frame and a mounting portion mounted on the vibrating  
plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;  
10 and an elastic member for providing an elastic force to the  
vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating  
plate abuts against the outer peripheral surface of the  
rotor; wherein, when the longitudinal vibration is selected  
by the selection means, the vibrating plate causes the  
15 longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally  
driven in one direction in accordance with the displacement  
of the vibrating plate due to the vibration, and wherein,  
when the bending vibration is selected by the selection  
means, the vibrating plate causes the bending vibration,  
20 whereby the rotor is rotationally driven in the direction  
opposite to the direction during the longitudinal vibration  
in accordance with the displacement of the vibrating plate  
due to the vibration.

In another form of the present invention, there is  
25 provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame;



a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, rotationally supported on the base frame, a rotating shaft thereof being movable; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against a longitudinal end of the vibrating plate; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in

accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator comprising: a base frame; a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on the position where the outer peripheral surface thereof abuts against a longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof; wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the

vibrating plate due to the vibration, and wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

From another standpoint, according to the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising reinforcing portions stacked on the upper and lower sides of the piezoelectric element; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the reinforcing portions.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising: a base frame; and a support member formed of a conductive material, and supporting the piezoelectric element on the base frame; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the support member.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric

element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising an elastic conductive material contacting the upper and lower surfaces of the vibrating plate to clamp the  
5 vibrating plate; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the elastic conductive material.

In another form of the present invention, there is provided a piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration  
10 of the piezoelectric element; the piezoelectric actuator comprising a wire wound around the vibrating plate while being in contact therewith; wherein power is supplied to the piezoelectric element via the wire.

In addition, according to the present invention, there  
15 is provided a timepiece comprising: a piezoelectric actuator in any one of the above forms; and a ring-shaped calendar display wheel rotationally driven by the piezoelectric actuator.

Furthermore, according to the present invention, there  
20 is provided a portable device comprising: a piezoelectric actuator in any one of the above forms; and a battery for supplying power to the piezoelectric actuator.

#### Brief Description of the Drawings

25 Fig. 1 is a plan view of the principal construction of

a calendar display mechanism having a piezoelectric actuator incorporated therein in a timepiece according to a first embodiment of the present invention.

Fig. 2 is a sectional side elevation schematically showing the construction of the timepiece according to the embodiment.

Fig. 3 is a plan view showing the overall construction of the piezoelectric actuator.

Fig. 4 includes diagrams for explaining a sectional contact state between a rotor and a projection that are components of the piezoelectric actuator.

Fig. 5 is a diagram for explaining another example of the sectional contact state between the rotor and the projection of the piezoelectric actuator.

Fig. 6 is a sectional side elevation showing a vibrating plate that is a component of the piezoelectric actuator.

Fig. 7 is a diagram showing a state in which the vibrating plate causes a longitudinal vibration.

Fig. 8 is a block diagram showing the outline of the construction for supplying electric power to a piezoelectric element of the vibrating plate.

Fig. 9 is a block diagram showing the outline of another construction for supplying electric power to the piezoelectric element of the vibrating plate.

Fig. 10 is a diagram for explaining a state in which, when the vibrating plate vibrates, it causes a bending vibration by a reaction force from the rotor.

Fig. 11 is a diagram for explaining the orbit of the projection during the bending vibration.

Fig. 12 is a graph showing an example of the relationship between vibration frequency and impedance of the vibrating plate.

Fig. 13 is a diagram for explaining the amplitude of the vibrating plate during the bending vibration.

Fig. 14 is a diagram for explaining the operation of the vibrating plate when the rotor is to be rotated in a reverse direction.

Fig. 15 is a diagram for explaining the position of the center of rotation of a support member for rotationally supporting the vibrating plate.

Fig. 16 is a diagram for explaining another example of the position of the center of rotation of the support member for rotationally supporting the vibrating plate.

Fig. 17 is a sectional side elevation showing a principal construction of the calendar display mechanism.

Fig. 18 is a block diagram showing the construction of a driving circuit of the calendar display mechanism.

Fig. 19 is a timing chart showing the operation of the driving circuit.

Fig. 20 is a plan view showing a first modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 21 is a sectional side elevation of a vibrating plate of a second modification of the piezoelectric actuator.

5 Fig. 22 is a plan view showing another example of the vibrating plate of the second modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 23 is a plan view showing a third modification of the piezoelectric actuator.

10 Fig. 24 is a plan view showing another example of a vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

15 Fig. 25 is a plan view showing still another example of the vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 26 is a diagram showing a further example of the vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

20 Fig. 27 is a diagram showing a still further example of the vibrating plate of the third modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 28 is a plan view showing a fourth modification of the piezoelectric actuator.

25 Fig. 29 is a diagram showing a manufacturing method of a vibrating plate of the fourth modification.

Fig. 30 is a plan view showing another example of the fourth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 31 is a plan view showing a fifth modification of the piezoelectric actuator.

5        Fig. 32 is a plan view showing a sixth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 33 is a diagram for explaining the amplitude of a support member of the sixth modification of the piezoelectric actuator.

10       Fig. 34 is a plan view showing another example of the sixth modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 35 is a plan view showing a seventh modification of the piezoelectric actuator.

15       Fig. 36 is a diagram for explaining the position of the center of rotation of a support member for rotationally supporting a vibrating plate of the seventh modification of the piezoelectric actuator.

20       Fig. 37 is a diagram for explaining the operation of the vibrating plate when the rotor is to be rotated in the reverse direction in the seventh modification.

Fig. 38 is a plan view showing another example of the seventh modification of the piezoelectric actuator.

Fig. 39 is a plan view showing a further modification of the seventh modification of the piezoelectric actuator.

25       Fig. 40 is a diagram showing a conductive construction



for supplying a drive voltage to the piezoelectric actuator.

Fig. 41 is a diagram showing a modification of the conductive construction for supplying the drive voltage to the piezoelectric actuator.

5        Fig. 42 is a side view showing a modification the conductive construction.

Fig. 43 is a diagram showing another modification of the conductive construction for supplying the drive voltage to the piezoelectric actuator.

10       Fig. 44 is a diagram showing a further modification of the conductive construction for supplying the drive voltage to the piezoelectric actuator.

Fig. 45 is a side view showing a still further modification of the conductive construction.

15       Fig. 46 is a plan view showing the overall construction of a piezoelectric actuator according to a second embodiment of the present invention.

Fig. 47 is a side view showing a vibrating plate that is a component of the piezoelectric actuator according to  
20 the second embodiment.

Fig. 48 is a plan view showing the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment.

Fig. 49 is a diagram showing a construction for  
25 supplying electric power to a piezoelectric element of the

vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment.

Fig. 50 includes a diagram showing a state in which the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment causes a longitudinal vibration, and a diagram showing a state in which the vibrating plate causes a bending vibration.

Fig. 51 is a diagram for explaining a driving direction of a rotor when the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment causes a longitudinal vibration.

Fig. 52 is a diagram for explaining a driving direction of the rotor when the vibrating plate of the piezoelectric actuator according to the second embodiment causes a bending vibration.

Fig. 53 is a plan view showing the overall construction of a piezoelectric actuator according to a third embodiment of the present invention.

Fig. 54 is a plan view showing a modification of the piezoelectric actuator according to the third embodiment.

Fig. 55 is a plan view showing the overall construction of a piezoelectric actuator according to a fourth embodiment of the present invention.

Fig. 56 is a side view showing the vicinity of a contacting part between the vibrating plate and the rotor of

the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment.

Fig. 57 is a side view showing the vicinity of the contacting part between the vibrating plate and the rotor in a modification of the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment.

Fig. 58 is a diagram for explaining a driving direction of a rotor when a vibrating plate in another modification of the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment causes a bending vibration.

Fig. 59 is a diagram showing an example of the construction of a driving circuit for switching the vibrating plate in the other modification of the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment between a longitudinal vibration mode and a bending vibration mode.

Fig. 60 is a diagram showing a modification of the piezoelectric actuator according to the first to fourth embodiments.

Fig. 61 is a plan view schematically showing an ultrasonic motor using a conventional piezoelectric actuator.

#### Best Mode for Carrying Out the Invention

A description will now be given of embodiments of the

present invention with reference to the drawings.

#### A. First Embodiment

##### A-1. Overall Construction

Fig. 1 is a plan view showing the principal  
5 construction of a calendar display mechanism having a  
piezoelectric actuator incorporated therein in a wristwatch  
according to a first embodiment of the present invention.

A piezoelectric actuator A1 is generally composed of a  
vibrating plate 10 that extensionally vibrates in an in-  
10 plane direction (a direction parallel to the plane of the  
figure) and a rotor (rotating member) 100. The rotor 100 is  
rotationally supported on a main plate (support body) 103,  
and is disposed at a position where it abuts against the  
vibrating plate 10. When its outer peripheral surface is  
15 tapped by vibrations generated in the vibrating plate 10,  
the rotor 100 is rotationally driven in a direction shown by  
the arrow in the figure.

Next, a calendar display mechanism is coupled to the  
piezoelectric actuator A1, and is driven by a driving force  
20 thereof. The principal part of the calendar display  
mechanism is generally composed of a speed-reducing wheel  
train for decelerating the rotation of the rotor 100, and a  
ring-shaped date indicator 50. The deceleration wheel train  
includes an intermediate date wheel 40 and a date indicator  
25 driving wheel 60.

Here, when the vibrating plate 10 vibrates in the in-plane direction as described above, the rotor 100 abutting against the vibrating plate 10 is rotated in a clockwise direction. The rotation of the rotor 100 is transmitted to the date indicator driving wheel 60 via the intermediate date wheel 40, and the date indicator driving wheel 60 rotates the date indicator 50 in a clockwise direction. In this way, the transmittance of all forces from the vibrating plate 10 to the rotor 100, from the rotor 100 to the speed-reducing wheel train, and from the speed-reducing wheel train to the date indicator 50 is effected in the in-plane direction. For this reason, the thickness of the calendar display mechanism can be reduced.

Fig. 2 is a sectional view of a timepiece according to the first embodiment of the present invention. In the figure, a calendar mechanism including the above-described piezoelectric actuator A1 is incorporated into the hatched region, and the thickness thereof is considerably thin at about 0.5 mm. A disk-like dial 70 is provided above the calendar display mechanism. A window 71 for displaying the date is provided in a part of the outer periphery of the dial 70 so that the date of the date indicator 50 can be seen through the window 71. In addition, a movement 73 for driving hands 72, and a driving circuit (not shown), which will be described later, are provided below the dial 70.

In the construction as described above, the piezoelectric actuator A1 has a construction in which a coil and a rotor are not stacked in the thickness direction as in a conventional stepping motor, but the vibrating plate 10 and the rotor 100 are disposed in the same plane. For this reason, it is structurally suited to a reduction in thickness. For this reason, the thickness of the calendar display mechanism can be reduced, and the thickness of the entire timepiece can be reduced. Furthermore, the movement 73 can be shared between a timepiece with the calendar display mechanism and a timepiece without such a display mechanism, whereby productivity can be improved.

#### A-2. Construction of Piezoelectric Actuator

Next, a description will be given of the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment. As shown in Fig. 3, the piezoelectric actuator A1 includes a long plate-like vibrating plate 10 that is elongated in the lateral direction in the figure, and a support member 11 for supporting the vibrating plate 10 on the main plate 103 (see Fig. 1).

At a longitudinal end 35 of the vibrating plate 10, a projection 36 is projected toward the rotor 100, and the projection 36 is in contact with the outer peripheral surface of the rotor 100. With the provision of such a

projection 36, an operation such as grinding may be performed only on the projection 36 in order to maintain the state of the contact surface between the projection 36 and the rotor 100, so that the contact surface between the projection 36 and the rotor 100 can be easily controlled.

In addition, the projection 36 formed of a conductive member or a non-conductive member may be used. When the projection 36 is formed of a non-conductive member, piezoelectric elements 30 and 31 can be prevented from shorting even if they come into contact with the rotor 100 that is generally formed of metal.

As shown in the figure, in this embodiment, the projection 36 is formed in the shape of a curved surface projecting toward the rotor 100 in plane view. By forming the projection 36 abutting against the rotor 100 in the shape of a curved surface in this way, even if the positional relationship between the rotor 100 and the vibrating plate 10 varies (due to variations in size and the like), the contact state between the outer peripheral surface of the rotor 100 that is a curved surface and the projection 36 formed in the shape of a curved surface does not change so much. Therefore, a stable contact state between the rotor 100 and the projection 36 can be maintained.

As shown in Fig. 4(a), in this embodiment, the

projection 36 is formed in the shape of a curved surface projecting toward the rotor 100 in sectional view. On the other hand, a concave surface 100a in the shape of a curved surface is formed in the outer peripheral surface of the rotor 100 so that the projection 36 and the concave surface 100a in the shape of a curved surface contact each other. Since the sectional contacting structure is such that a curved surface contacts a curved surface, a good contact state can be maintained even if the contact angle between the projection 36 and the rotor 100 varies. For example, as shown in Fig. 4(b), if the outer peripheral surfaces of the projection 36 and the rotor 100 are formed in the shape of straight lines, the contact state is greatly changed by merely a slight variation of the contact angle. Here, although a guide member for guiding the projection 36 may be provided in order to maintain the contact angle constant, such a construction causes an increase in the number of components that increases the cost. Therefore, by forming the projection 36 and the concave surface 100a in the shape of curved surfaces, as in this embodiment, a good contact state can be maintained without causing a substantial increase in cost. In addition, disengagement of the projection 36 from the concave surface 100a can be restrained. Not only the concave surface 100a in the shape of a curved surface but also a V-groove 100b may be formed



in the outer peripheral surface of the rotor 100, as shown in Fig. 5. In this case, variations of the contact angle between the projection 36 and the rotor 100, and the disengagement of 136 from the V-groove 100b can also be reduced.

Returning to Fig. 3, one end portion (mounting portion) 37 of the support member 11 is mounted on the vibrating plate 10 at a portion slightly toward the rotor 100 from the longitudinal center thereof. The other end (fixed portion) 38 of the support member 11 is supported on the main plate 103 (see Fig. 1) by a screw 39. In such a construction, the support member 11 supports the vibrating plate 10 in a state of urging, by its elastic force, toward the rotor 100, whereby the projection 36 of the vibrating plate 10 is brought into abutment with the side surface of the rotor 100.

As shown in Fig. 6, the vibrating plate 10 has a stacked structure in which a reinforcing plate 32, such as stainless steel, having substantially the same shape as the piezoelectric elements 30 and 31, and having a thickness smaller than that of the piezoelectric elements 30 and 31, is arranged between the two rectangular piezoelectric elements 30 and 31. By arranging the reinforcing plate 32 between the piezoelectric elements 30 and 31 in this way, damage of the vibrating plate 10 due to the excessive vibration of the vibrating plate 10 or an external force can

be reduced. In addition, the reinforcing plate 32 having a thickness smaller than that of the piezoelectric elements 30 and 31 is used so as to allow as much vibration as possible of the piezoelectric elements 30 and 31.

5        Electrodes 33 are disposed on the surfaces of the piezoelectric elements 30 and 31 that are disposed at the upper and lower sides. A voltage is supplied from a conductive construction, which will be described later, to the piezoelectric elements 30 and 31 via the electrodes 33.  
10      Here, as the piezoelectric elements 30 and 31, various types of substances can be used, such as lead zirconate titanate (PZT(trademark), quartz, lithium niobate, barium titanate, lead titanate, lead metaniobate, polyvinylidene fluoride, zinc lead niobate ( $(\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{-Nb}_{2/3})\text{O}_3 \text{ 1-x-Pb Ti O}_3 \text{ x})$ ,  
15      wherein x varies with the composition, and x is about 0.09), and scandium lead niobate ( $(\text{Pb}((\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{1-x Tix}))\text{O}_3$ ), wherein x varies with the composition, and x is about 0.09).

         In addition, in this embodiment, each of the electrodes 33 is formed with a thickness of 0.5  $\mu\text{m}$  or more. Electrodes  
20      each having a thickness of about 0.1 to 0.3  $\mu\text{m}$  are usually formed on such a piezoelectric element. In the piezoelectric actuator A1, however, electrodes thicker than common electrodes are formed, whereby the electrodes 33 serve the function of a reinforcing material against bending  
25      in addition to the function of the electrode so as to

improve the strength of the vibrating plate 10. Here, although the strength is improved when the thickness of each of the electrodes 33 is increased, an excessive increase in the thickness will prevent the vibration of the vibrating plate 10. Therefore, when the improvement of the strength and the influence on the vibration are considered, the thickness of each of the electrodes 33 may preferably be 0.5  $\mu\text{m}$  or more, and the sum of the thicknesses of the electrodes 33 formed on the upper and lower surfaces may preferably be the thickness of the reinforcing plate 32 or less. In the case of the piezoelectric actuator A1 to be incorporated into the calendar display mechanism of the wristwatch as in this embodiment, when the reduction in thickness, the influence on the vibration, and the strength and the like are considered, the thickness of the reinforcing plate 32 may be about 0.1 mm. Therefore, in this case, the sum of the thicknesses of the electrodes 33 may be 0.1 mm or less.

When an alternating voltage is applied from a driving circuit, which will be described later, to the piezoelectric elements 30 and 31 via the electrodes 33, the thus-constructed vibrating plate 10 vibrates as the piezoelectric elements 30 and 31 expand and contract. In this case, the vibrating plate 10 causes a longitudinal vibration such that it expands and contracts in the longitudinal direction, as shown in Fig. 7, whereby the vibrating plate 10 vibrates in

the direction shown by an arrow in Fig. 3 (an unloaded state, that is, a state in which the projection 36 is not in contact with the rotor 100). In addition, as shown in Fig.

8, the vibrating plate 10 has a structure in which the long plate-like piezoelectric elements 30 and 31 are stacked, and the piezoelectric elements 30 and 31 are driven while being connected in parallel so that they are polarized in opposite directions (shown by the arrow in the figure), whereby the amplitude of vibration caused by the vibrating plate 10 can be amplified, and a greater displacement can be obtained.

On the other hand, if the piezoelectric elements 30 and 31 are driven while being connected in series so that they are polarized in the same direction, as shown in Fig. 9, the vibrating plate 10 can be vibrated with a low current.

Therefore, the connecting structure of the piezoelectric elements 30 and 31 may be determined in accordance with the conditions of using the piezoelectric actuator A1 (when an increase in displacement is regarded as important, or when a reduction in power consumption is regarded as important).

### A-3. Operation of Piezoelectric Actuator

Next, a description will be given of the operation of the piezoelectric actuator constructed as described above. Firstly, when a voltage is applied to the vibrating plate 10 from a driving circuit (not shown), the vibrating plate 10

causes a flexural vibration as the piezoelectric elements 30 and 31 expand and contract, and vibrates in the direction of the arrow with the projection 36 abutting against the rotor 100, as shown in Fig. 3. The rotor 100 is rotated in the  
5 direction of the arrow in accordance with the displacement of the projection 36 caused by the vibration. The rotor 100 is rotated in this way, whereby the date indicator 102 is rotated via the intermediate date wheel 101 (see Fig. 1), and the date and the day to be displayed are changed.

10 Here, in the piezoelectric actuator A1, the projection 36 abutted against the rotor 100 is provided at a position shifted from the center line shown by a one-dot chain line in Fig. 3 in the widthwise direction (vertical direction in Fig. 3) of the vibrating plate 10. Therefore, a bending  
15 vibration shown in Fig. 10 is generated in the vibrating plate 10 by a reaction force from the side surface of the rotor 100. If the above-described bending vibration is induced in addition to the longitudinal vibrations of the piezoelectric elements 30 and 31 caused by the application  
20 of a voltage, the projection 36 moves along an elliptical orbit, as shown in Fig. 11. That is, if the bending vibration is excited in addition to the longitudinal vibration, a greater displacement can be obtained. If the displacement of the projection 36 can be amplified in this  
25 way, driving efficiency of the rotor 100 that is driven in

accordance with the displacement can be improved. The position where the projection 36 is provided is not limited to the position shown in the figure, and the projection 36 may be provided at a position where a bending vibration can  
5 be induced in the substantially rectangular vibrating plate 10 by the reaction force of the above-described rotor 100.

Furthermore, if the vibrating plate 10 is used which has a shape such that the resonance frequency of the longitudinal vibration substantially coincides with the  
10 resonance frequency of the bending vibration, the projection 36 can be moved along a larger elliptical orbit. If the projection 36 is moved along the large elliptical orbit in this way, the time the projection 36 comes into contact with the rotor 100 is elongated, whereby the displacement of the  
15 projection 36 during contact is amplified. Therefore, if a bending vibration that resonates with the longitudinal vibration due to the expansion and contract of the piezoelectric elements 30 and 31 is induced, the driving force can be transmitted with higher efficiency.

20 As described above, while the vibrating plate that has a shape such that the longitudinal vibration and the bending vibration generated in the vibrating plate 10 resonate may be used, a vibrating plate that has a shape such that the resonance frequency of the bending vibration of the  
25 vibrating plate 10 is increased to be slightly higher than

the resonance frequency of the longitudinal vibration may be used. If the resonance frequency of the bending vibration is increased to be slightly higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration in this way, a  
5 bending vibration is generated in the vibrating plate 10, as shown in Fig. 10, whereby the projection 36 can be greatly displaced, and the vibration generated in the vibrating plate 10 can be stabilized. This is because the bending vibration cannot follow the longitudinal vibration when the  
10 resonance frequency of the bending vibration generated in accordance with the longitudinal vibration is lower than the resonance frequency of the longitudinal vibration generated by the voltage applied to the piezoelectric elements 30 and 31, and all vibrations generated in the vibrating plate 10  
15 become unstable. In addition, in a vibrating plate in which the resonance frequency of the bending vibration greatly differs from the resonance frequency of the longitudinal vibration, amplitudes of the longitudinal vibration and bending vibration generated in the vibrating plate decrease,  
20 whereby driving efficiency is lowered. Therefore, if the resonance frequency of the bending vibration of the vibrating plate is slightly higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration, a decrease in the amplitude of the vibration generated in the vibrating plate  
25 10, that is, the displacement of the projection 36, can be

restricted, and a stable vibration can be generated. For example, when a vibrating plate having the varying impedance characteristics shown in Fig. 12 was used, it was experimentally recognized that the projection 36 greatly  
5 displaced along the above-described elliptical orbit, and a stable vibration was generated in the vibrating plate. In the vibrating plate having the characteristics shown in Fig. 12, the resonance frequency at the minimum value of the impedance of the longitudinal vibration is 284.3 kHz, and  
10 the resonance frequency at the minimum value of the impedance of the bending vibration is 288.6 kHz. Therefore, if the vibrating plate 10 in which the resonance frequency of the bending vibration of the vibrating plate 10 is increased to be higher than the resonance frequency of the  
15 longitudinal frequency by about 2% is used, the above-described advantages can be obtained. In a case where the resonance frequency of the bending vibration is slightly increased in this way, if the vibrating plate 10 is excited with a frequency between the resonance frequency of the  
20 longitudinal vibration and the resonance frequency of the bending vibration, that is, if the piezoelectric elements 30 and 31 are driven with an exciting frequency within such a range, both the longitudinal vibration and the bending vibration can be easily induced, and a vibration such that  
25 the elliptical orbit shown in Fig. 11 becomes large can be



generated in the vibrating plate 10, whereby the rotor 100 can be rotationally driven with higher efficiency.

While the bending vibration may be induced in the vibrating plate 10 by a reaction force from the rotor 100, as described above, the projection 36 that is an abutment portion of the rotor 100 and the vibrating plate 10 may be elastically deformed in the widthwise direction by a reaction force from the rotor 100 generated by the longitudinal vibration of the vibrating plate 10 so that the projection 36 is moved along the above-described elliptical orbit.

Since the projection 36 is urged toward the rotor 100 by the elastic force of the support member 11 in the piezoelectric actuator A1, sufficient friction can be obtained between the rotor 100 and the projection 36. This reduces slippage of the projection 36 and the rotor 100, whereby a large driving force can be stably transmitted from the projection 36 to the rotor 100.

Since the rotor 100 and the vibrating plate 10 are supported on the main plate 103, which is a single member, the spacing arrangement between them is maintained constant. Therefore, the contact state between the projection 36 and the rotor 100 can be stably maintained, whereby the driving force can be stably transmitted.

In the piezoelectric actuator A1 according to this

embodiment, the end 37 of the support member 11 is attached to the vibrating plate 10 at a position of a node of amplitude of the center lines of vibrating plate 10 shown by broken lines in Fig. 13, that is, at a position of minimum amplitude. More specifically, the end 37 is attached to the vibrating plate 10 slightly toward the rotor 100 from the longitudinal central part. This is because while the position of the center of gravity of the vibrating plate 10, i.e., the longitudinal central position of the rectangular vibrating plate 10 is a node of vibration during the unloaded state, the node of vibration of the vibrating plate 10 is actually located toward the rotor 100 from the central part, as shown in Fig. 13 due to the influence of the reaction force and the like from the rotor 100 as described above. The vibrating plate 10 is supported at the position of the node of vibration in this way, whereby loss of vibration energy is decreased and the driving force can be transmitted with higher efficiency. In addition, if the position of a node of vibration of the support member 11 in accordance with the vibration of the vibrating plate 10 is allowed to substantially coincide with the end 37 of the support member 11, the loss of the vibration energy can be further decreased. When the vibrating plate 10 does not have a rectangular shape shown in Fig. 10, the vibrating plate 10 may be supported at a portion toward the rotor 100

from the center of gravity of the vibrating plate 10. This is because the node of the vibration of the vibrating plate 10 is moved toward the rotor 100 from the center of gravity of the vibrating plate 10 by the influence of the reaction  
5 force and the like from the rotor 100. The support member 11 may support the vibrating plate 10 at the position of the node.

Furthermore, in the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment, the vibrating plate 10 having a  
10 structure in which the piezoelectric elements 30 and 31 and the reinforcing plate 32 are stacked can rotationally drive the rotor 100 without using the amplifying member.

Therefore, the construction is simplified, and the size of the device can be easily reduced. In addition, mechanical  
15 components of the piezoelectric actuator A1 are the vibrating plate 10, the support member 11, and the like, and components are not stacked in the thickness direction (direction perpendicular to the plane of Fig. 1). Therefore, the thickness of the device can be easily reduced.

20 In addition, in the piezoelectric actuator A1, the rotor 100 is driven only in one direction shown by the arrow in the figure, and another vibrating plate for driving the rotor 100 in the opposite direction, and a mechanism for changing the direction of abutment of the vibrating plate  
25 against the rotor 100 are not provided, that is, there are

few factors for preventing the vibration of the vibrating plate 10. Therefore, the driving force can be transmitted more efficiently.

5 In the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment, since the rotor 100 is driven only in one direction, it is necessary to restrict the rotation of the rotor 100 in the opposite direction. However, when a large external force is applied or a load is increased, the rotor 100 sometimes tends to rotate in the opposite direction  
10 against the driving force generated by the vibrating plate 10. For example, when an opposite torque exceeding the frictional force between the projection 36 and the rotor 100 is generated, both of the projection 36 and the rotor 100 slip against each other to allow the rotor 100 to be rotated  
15 in the opposite direction. In the piezoelectric actuator A1 according to this embodiment, however, since the support member 11 is not a rigid body but is elastic, as shown in Fig. 14, when a force which tends to rotate the rotor 100 in the opposite direction increases and the rotor 100 is pushed  
20 back in the opposite direction, the rotation of the rotor 100 in the opposite direction and the rotation of the vibrating plate 10 with the projection 36 contacting the rotor 100 are allowed. As shown in Fig. 15, in this  
25 embodiment, the center of rotation allowed for the vibrating plate 10 is set to be located within a quadrant formed by

the line B extending from the contact point A of the rotor 100 and the projection 36 in a direction opposite to the driving direction of the rotor 100 at the point A and the line C intersecting the line B at right angles on the point A. That is, the rotation of the vibrating plate 10 around the end 38 of the support member 11 located within the above-described quadrant is allowed. By providing the center of rotation at such a position, when the vibrating plate 10 is rotated clockwise in the figure in accordance with the opposite rotation of the rotor 100, the projection 36 is displaced toward the rotor 100 as if to cut into the rotor 100. Therefore, the force of the projection 36 pressing against the rotor 100 is increased, whereby the friction between the projection 36 and the rotor 100 is increased. This makes it possible to transmit a large torque (for the normal rotation) from the vibrating plate 10, whereby the rotation of the rotor 100 in the opposite direction due to an increase in load and the external force can be inhibited. That is, when the load is increased, the driving torque can be increased corresponding to the increase in the load. When the force in the opposite direction is eliminated or decreased, the vibrating plate 10 is returned to the lower position shown by the one-dot chain line in Fig. 14 by the elastic force of the support member 11.

In addition to the increase in friction between the projection 36 and the rotor 100, when the rotor 100 tends to rotate in the opposite direction, the vibrating plate 10 may be rotated so that the projection 36 moves away in a direction opposite to the driving direction shown by the arrow in accordance with the movement of the rotor 100, as shown in Fig. 16. In order to rotate the vibrating plate 10 in this way, the center of rotation of the vibrating plate 10 may be set to be located within a quadrant formed by the line D extending from the contact point A of the rotor 100 and the projection 36 in the driving direction of the rotor 100 at the point A and the line C intersecting the line D at right angles on the point A. This makes it possible to rotate the vibrating plate 10 so that the projection 36 moves away as described above, whereby damage of the rotor 100 and the projection 36 due to the external force and the like can be reduced.

#### A-4. Construction of Calendar Display Mechanism

Next, a description will be given of the construction of the calendar display mechanism with reference to Fig. 1 and Fig. 17, which is a sectional view of Fig. 1. In the figures, the main plate 103 is a first bottom plate for arranging parts thereon, and a main plate 103' is a second bottom plate partially having a stepped portion with respect

to the main plate 103. A gear 100c that is coaxial with the rotor 100 and is rotated with the rotor 100 is provided above the rotor 100. The intermediate date wheel 40 is composed of a large diameter section 4b and a small diameter section 4a that is fixed so as to be concentric with the large diameter section 4b and is formed slightly smaller than the large diameter section 4b. In accordance with the rotation of the gear 100c with the rotor 100, the large diameter section 4b that meshes with the gear 100c is rotated, whereby the intermediate wheel 40 is rotated. A peripheral surface of the small diameter section 4a is cut out in substantially a square shape to form a cutout 4c. A shaft 41 of the intermediate date wheel 40 is formed on the main plate 103', and a bearing (not shown) coupled to the shaft 41 is formed inside the intermediate date wheel 40. Therefore, the intermediate date wheel 40 rotationally provided on the main plate 103'. The rotor 100 also has a bearing (not shown) formed inside thereof, and is rotationally supported on the main plate 103.

Next, the date indicator 50 is formed in the shape of a ring, and an internal gear 5a is formed on the inner peripheral surface thereof. The date indicator driving wheel 60 has a gear of five teeth, and meshes with the internal gear 5a. A shaft 61 is provided in the center of the date indicator driving wheel 60 to rotationally support

the date indicator driving wheel 60. The shaft 61 is loosely inserted into a through hole 62 formed in the main plate 103'. The through whole 62 is elongated along the circumferential direction of the date indicator 50.

5 One end of a plate spring 63 is fixed to the main plate 103', and the other end is fixed to the shaft 61. This allows the plate spring 63 to urge the shaft 61 and the date indicator driving wheel 60. Swinging of the date indicator 50 is prevented by the urging action of the plate spring 63.

10 One end of a plate spring 64 is secured to the main plate 103' by a screw, and the other end is bent in substantially a V shape to form an end part 64a. A contact 65 is arranged so as to come into contact with the plate spring 64 when the intermediate date wheel 40 is rotated and  
15 the end part 64a enters into the cutout 4c. A predetermined voltage is applied to the plate spring 64, and the voltage is also applied to the contact 65 upon contacting the contact 65. Therefore, by detecting the voltage of the contact 65, a date feed state can be detected. A manual  
20 driving wheel meshing with the internal gear 5a may be provided so that the date indicator 50 is driven when a user performs a predetermined operation on a crown (not shown).

#### A-5. Operation of Calendar Display Mechanism

25 A description will be given of an automatic calendar-



updating operation with reference to Fig. 1. When it is twelve o'clock midnight each day, this is detected, and a driving signal V is supplied to the piezoelectric elements 30 and 31 from a driving circuit 500, which will be  
5 described later. Then, the vibrating plate 10 vibrates as described above. This makes the rotor 100 rotate in a clockwise direction, and, following this, the intermediate date wheel 40 starts rotation in a counterclockwise direction.

10 Here, the driving circuit 500 is constructed so as to stop the supply of the driving signal V when the plate spring 64 comes into contact with the contact 65. In a state where the plate spring 64 is in contact with the contact 65, the end portion 64a enters into the cutout 4c.  
15 Therefore, the intermediate date wheel 40 starts to rotate.

Since the date indicator driving wheel 60 is urged in a clockwise direction by the plate spring 63, the small diameter section 4a is rotated while sliding on teeth 6a and 6b of the date indicator driving wheel 60. When the cutout  
20 4c reaches the position of the tooth 6a of the date indicator driving wheel 60 during the rotation, the tooth 6a meshes with the cutout 4c. In this case, the circumscribed circle of the date indicator driving wheel 60 has moved to the position shown by C1.

25 When the intermediate date wheel 40 is continuously

rotated in a counterclockwise direction, the date indicator driving wheel 60 is rotated in a clockwise direction by one tooth, that is, by "1/5" of a revolution operatively associated with the intermediate date wheel 40. Furthermore, 5 the date indicator 50 is rotated in a clockwise direction by one tooth (equivalent to the date range for one day) operatively associated with the rotation of the date indicator driving wheel 60. In the final day of a month having a number of days less than "31", the above operation 10 is repeated a plurality of times, and the correct date based on a calendar is displayed by the date indicator 50.

When the intermediate date wheel 40 is continuously rotated in a counterclockwise direction, and the cutout 4c reaches the end part 64a of the plate spring 64, the end 64a 15 enters into the cutout 4c. Then, the plate spring 64 comes into contact with the contact 65, the supply of the driving signal V is stopped, and the rotation of the intermediate date wheel 40 is stopped. Therefore, the intermediate date wheel 40 is rotated once a day.

20 Incidentally, the load of the piezoelectric actuator A1 increases during 1) a first period (start of rotation) until the end 64a of the plate spring 64 gets out of the state where it is in the cutout 4c, and 2) a second period in which the cutout 4c meshes with the date indicator driving 25 wheel 60 to rotate the date indicator 50. When the load of

the piezoelectric actuator A1 increases, slippage between the rotor 100 and the projection 36 is increased, and in the worst case, it becomes impossible to drive the rotor. In the mechanism system of this embodiment, however, the first  
5 period and the second period do not overlap each other. That is, the maximum torque time required for detecting the date feed state and the maximum torque time required for driving the date indicator 50 are staggered. Therefore, the peak current of the piezoelectric actuator A1 can be  
10 suppressed, and consequently, the timepiece can be positively operated by maintaining the power source voltage above a certain voltage value.

#### A-6. Driving Circuit

15 Fig. 18 is a block diagram of the driving circuit 500 for applying a voltage to the piezoelectric elements 30 and 31, and Fig. 19 is a timing chart of the driving circuit 500. A twelve o'clock midnight detection unit 501 is a mechanical switch incorporated in the movement 73 (see Fig. 2), and  
20 outputs a first control pulse CTLa shown in Fig. 19(a) when it is twelve o'clock midnight. A date feed detection unit 102 has the above-described plate spring 64 and the contact 65 as principal sections, and outputs a second control pulse CTLb shown in Fig. 19(b) when the plate spring 64 comes into  
25 contact with the contact 65.

A control circuit 503 generates an oscillation control signal CTLc (see Fig. 19(c)) based on the first control pulse CTLa and the second control pulse CTLb. The control circuit 503 may be composed of, for example, an SR flip flop  
5 so that the first control pulse CTLa is supplied to set terminals, and the second control pulse CTLb is supplied to reset terminals. In this case, as shown in Fig. 19(c), when the first control pulse CTLa rises from a low level to a high level, the oscillation control signal CTLc changes from  
10 a low level to a high level, and this state is maintained until the second control pulse CTLb rises, when it changes from the high level to the low level.

The oscillation circuit 504 is constructed so that an oscillation frequency is substantially equal to  $f_s(n)$   
15 wherein n represents the order of the vibration mode of the vibrating plate 10. The oscillation circuit 504 may be formed by, for example, a Colpitts oscillation circuit.

Power supplied to the oscillation circuit 504 is controlled by the oscillation control signal CTLc. The  
20 power supply is effected when the oscillation control signal CTLc is at the higher level, and is stopped when the oscillation control signal CTLc is at the lower level. Therefore, a waveform of the driving signal V, which is an output of the oscillation circuit 504, oscillates when the  
25 oscillation control signal CTLc is at a higher level, as

shown in Fig. 19(d).

While the intermediate date wheel 40 is rotated once a day as described above, the period thereof is limited, starting from twelve o'clock midnight. Therefore, the oscillation circuit 504 may sufficiently oscillate only during the period. In the driving circuit 50 of this embodiment, the power supply to the oscillation circuit 504 is controlled by the oscillation control signal CTLc to thereby completely stop the operation of the oscillation circuit 504 during a period in which there is no need for rotating the intermediate date wheel 40. Therefore, power consumption of the oscillation circuit 504 can be reduced.

#### A-7. Modifications of Piezoelectric Actuator

In place of the piezoelectric actuator A1 having the construction as described above, it is possible to use the following variously modified piezoelectric actuators, and it is also possible to use a piezoelectric actuator formed as a combination of the modifications.

##### A-7-1. First Modification

While the projection 36 is provided on the vibrating plate 10 at a contacting part between the projection 36 and the rotor 100 in the piezoelectric actuator A1 shown in the above-described embodiment, a cutout 90 may be formed by

cutting out a peak of a rectangular vibrating plate 10 on the side of the rotor 100 so that the cutout 90 is brought into abutment with the side surface of the rotor 100, as shown in Fig. 20. In this case, a surface state of the cutout 90 can be easily controlled in a manner similar to the above-described projection 36. By forming the cutout 90 in the shape of a curved surface, a good contact state can be maintained in a manner similar to the above-described piezoelectric actuator A1.

10

#### A-7-2. Second Modification

While the electrodes 33 are provided on the entire surfaces of the piezoelectric elements 30 and 31 in the above-described embodiment, electrodes 33 may be disposed only near the longitudinal central parts of the piezoelectric elements 30 and 31 and may not be disposed on both ends, as shown in Fig. 21. That is, the piezoelectric elements 30 and 31 may be constructed so as to have electrode sections having electrodes on the surfaces thereof, and non-electrode sections located on both ends of the electrode sections. This construction makes it possible to reduce the drive voltage while maintaining the driving force to the rotor 100. This is because, when the vibrating plate 10 is vibrated with its natural vibration frequency, the both ends of the vibrating plate 10 are sufficiently greatly

15

20

25

displaced by the vibration, and the displacement is not amplified even if a voltage is applied to the displaced portions so as to expand and contract the piezoelectric elements 30 and 31 provided on the both ends.

5       As shown in Fig. 22, the electrodes 33 may be disposed only on the widthwise (vertical direction in the figure) central part of the piezoelectric elements 30 and 31, and may not be disposed on the widthwise both ends (upper and lower sides in the figure).

10

#### A-7-3. Third Modification

While the rectangular vibrating plate 10 is used in the above-described embodiment, a tapered vibrating plate 95 having a small thickness on the side of the rotor 100 may be used. When preparing the vibrating plate 95 having such a shape, tapered piezoelectric elements and reinforcing plate may be stacked in a manner similar to the above-described vibrating plate 10. The use of such a vibrating plate 95 amplifies the displacement of an end 96 of the vibrating plate 95 on the side of the rotor 100, whereby the rotor 100 can be driven at high speed. In addition, since the lengths in the widthwise direction that is the vertical direction of the figure are not uniform, the widthwise resonance of the vibrating plate 95 can be restricted, that is, the vibration in the widthwise direction, can be reduced.

15

20

25

In addition, a vibrating plate 97 having a shape shown in Fig. 24 may be used. As shown in the figure, the vibrating plate 97 is, unlike the totally tapered vibrating plate 95, partially (in the figure, the side of the rotor 100) tapered. The use of the vibrating plate having such a shape makes it possible to drive the rotor 100 at high speed in a manner similar to the vibrating plate 95 shown in Fig. 23, compared with the rectangular vibrating plate 10.

In addition, when a vibrating plate having a shape such that the thickness decreases toward the rotor 100 is used, the rotor 100 can be driven at high speed. For example, a vibrating plate 28 having a shape shown in Fig. 28 may be used.

While the vibrating plates shown in Figs. 23 to 25 are suitable for driving the rotor 100 at high speed, a vibrating plate 99 having the shape shown in Fig. 26 may be used when the rotor is driven at low speed and high torque. As shown in the figure, the vibrating plate 99 has a shape such that the width increases toward the rotor 100. In the vibrating plate 99, while displacement of an end 96 that is a contacting part between the end 96 and the rotor 100 is reduced, compared with the rectangular vibrating plate 10, torque which tends to rotate the rotor 100 is increased, whereby a low-speed drive with high torque can be effected.

When a vibrating plate having a shape other than the



rectangular shape shown in Figs. 23 to 26 is used, the electrodes provided on the upper and lower surfaces thereof may have a rectangular shape. For example, as shown in Fig. 27, when a rectangular electrode is formed on the vibrating plate 95, a high-speed drive with low drive voltage can be effected.

#### A-7-4. Fourth Modification

As shown in Fig. 28, a horn part (extended part) 110 extending toward the rotor 100 from the vibrating plate 10 may be provided. When providing such a horn part 110, the reinforcing plate 32 may be prepared in the shape of including the horn section 110, as shown in the figure, and the piezoelectric elements 30 and 31 may be stacked on the upper and lower sides of the reinforcing plate 32, respectively. When the vibrating plate 10 is vibrated in this construction, the vibrating plate 10 and the horn part 110 vibrate with amplitude shown by broken lines in Fig. 28. Therefore, the displacement of the tip of the horn part 110 abutting against the rotor 100 is amplified, whereby the driving force can be efficiently provided. The horn part 110 may have a shape shown in Fig. 30.

#### A-7-5. Fifth Modification

As shown in Fig. 31, the vibrating plate 10, the

support member 11 and the rotor 100 may be disposed so that the end 38 of the support member 11 is located on a tangent to the projection 36 of the vibrating plate 10 and the rotor 100, i.e., on the line S perpendicular to the direction of a pressing force F from the projection 36 to the rotor 100 in the initial vibration state. When the vibrating plate 10, the support plate 11, and the rotor 100 are disposed so as to achieve such a positional relationship, the contact position and the angle between the rotor 100 and the projection 36 are not changed even if fine adjustment of the positions of the support member 11 and the vibrating plate 10 is effected around the end 38 secured by the screw 39 in order to adjust the pressing force and the like of the projection 36 to the rotor 100, whereby the driving force can always be stably provided. In addition, variations in the contact angle between the vibrating plate and the rotor due to the shape, the position, the change with the passage of time, and the like can be prevented.

#### A-7-6. Sixth Modification

As shown in Fig. 32, the longitudinal both ends of the vibrating plate 10 may be supported by two support members 11. This can restrict the vibration of the vibrating plate 10 in the widthwise direction (vertical direction in the figure), that is, the vibration that prevents the vibration

in the horizontal direction in the figure required for driving the rotor 100 can be restricted. In this case, if the end 37 of the support member 11 substantially coincides with the position of an antinode of vibration of the support member 11 in accordance with the vibration of the vibrating plate 10, as shown in Fig. 33, for example, if the length of the support member 11 is set to be a quarter of the vibration wavelength of the support member 11, the prevention of the vibration in the horizontal direction in the figure that is a longitudinal direction of the vibration plate 10 is reduced, whereby efficiency is further improved.

In addition, when supporting the vibrating plate 10 by the two support members 11 in this way, the position of the node of the vibration of the vibrating plate 10 may be supported by one (the right side in the figure) of the two support members 11, and an end of the vibrating plate 10 on the side of the rotor 100 may be supported by the other one (the left side in the figure) of the support members 11. Since one of the support members 11 supports the node of the vibration, this can reduce the loss of vibration energy, and the other one of the support members 11 can restrict the vibration in the widthwise direction near the contacting part between the support member 11 and the rotor 100.

A-7-7. Seventh Modification

While the support member 11 urges the vibration plate 10 toward the rotor 100 in the above-described embodiment, the vibrating plate 10 may be urged toward the rotor 100 by providing a spring member (elastic member) 180, as shown in Fig. 35. As shown in the figure, the support member 11 is mounted on the upper side of the vibrating plate 10, and one end of the spring member 180 is mounted on the lower side of the vibrating plate 10. The other end of the spring member 180 is supported by a pin 181 provided on the main plate 103 (see Fig. 1). This allows the vibrating plate 10 to be urged toward the rotor 100, upper side in the figure, whereby the projection 36 is brought into abutment with the side surface of the rotor 100. The spring member 180 is provided so as to urge the vibrating plate 10 toward the rotor 100 in this way, the driving force can be stably transmitted in a manner similar to the piezoelectric actuator A1 in the above-described embodiment.

When the support member 11 for supporting the vibrating plate 10 and the spring member 180 for urging the vibrating plate 10 toward the rotor 100 are provided in this way, the vibrating plate 10 may also be provided so as to be rotated around the position (for example, the position of the end 38 as shown in the figure) within a quadrant formed by the line B and the line C, as shown in Fig. 36, in a manner similar to the above-described embodiment. Even if the rotor 100

tends to be rotated in the opposite direction due to the external force, this construction allows the vibrating plate 10 to return the former position after it is rotated in accordance with the rotation of the rotor 100 in the opposite direction, and the rotor 100 returns to a normal direction in accordance with the return of the vibrating plate 10, as shown in Fig. 37, whereby the rotation of the rotor 100 in the opposite direction can be restricted.

Incidentally, when the support member 11 and the spring member 180 are provided in this way, the vibrating plate 10 may also be formed in a tapered shape, as shown in Fig. 38, and the horn part (see Fig. 28) may be provided.

As shown in Fig. 39, an elastic support member 600 that is a combination of a support member for supporting the vibrating plate 10 and a spring member for urging the vibrating plate 10 toward the rotor 100 may be provided. As shown in the figure, the elastic support member 600 is an L-shaped member, and has a support portion 600a for supporting the vibrating plate 10 and a spring portion 600b extending from the support portion 600a while being bent thereat. The elastic support member 600 is supported by a screw 39 at a portion that is an intermediate part between the support portion 600a and the spring portion 600b, and an end of the spring portion 600b is supported by the pin 181, whereby the vibrating plate 10 is urged toward the rotor 100. This

brings the projection 36 into abutment with the outer peripheral surface of the rotor 100. In addition, slight rotation of the elastic support member 600 around the screw 39 is allowed, whereby the rotation of the rotor 100 in the opposite direction can be restricted in a manner similar to the piezoelectric actuator A1.

#### A-7-8. Eighth Modification

While the vibrating plate has a structure in which the piezoelectric elements 30 and 31 are stacked on the upper and lower sides of the reinforcing plate 32 in the above-described embodiment, the vibrating plate may have a simple structure in which one piezoelectric element is stacked on a reinforcing plate. In addition, three or more piezoelectric elements may be stacked.

#### A-8. Conductive Construction to Piezoelectric Actuator

Next, a description will be given of a conductive construction for supplying a drive voltage from the driving circuit 500 to the piezoelectric elements in the piezoelectric actuators of the above-described various modifications. Power can be usually supplied to the piezoelectric elements by wiring the electrodes 33 provided on the vibrating plate 10 from the driving circuit 500. For the purpose of simplifying the conductive construction,

however, power may be supplied to the piezoelectric elements by various conductive constructions shown in Figs. 40 to 45.

While the vibrating plate 10 has a structure in which the piezoelectric elements 30 and 31 are stacked on the upper and lower sides of the reinforcing plate 32 in the above-described piezoelectric actuator A1, a piezoelectric actuator shown in Fig. 40 has a structure in which reinforcing plates 32 are stacked on the upper and lower sides of one piezoelectric element 251. The reinforcing plate 32 of the upper layer is supported by a support member 11a, the reinforcing plate 32 of the lower layer is supported by a support member 11b, and the reinforcing plates 32, the support members 11a and 11b are formed of conductive materials. In this construction, the drive voltage from the driving circuit 500 is supplied to the piezoelectric element 251 via the support members 11a and 11b and the reinforcing plates 32. This allows the support members 11a and 11b to serve the conducting function of supplying the drive voltage to the piezoelectric element 251, in addition to the function of supporting the vibrating plate 10 while urging toward the rotor 100. Therefore, the need to separately provide a conductive construction, such as wiring, for supplying the drive voltage to the piezoelectric element 251 is eliminated, whereby the construction is simplified. In addition, when another

conductive component is provided, the conductive component may prevent the vibration of the vibrating plate 10. This conductive construction, however, does not encounter such a problem, and the driving force can be efficiently

5 transmitted.

In addition, as shown in Figs. 41 and 42, when a vibrating plate 10 in which piezoelectric elements 30 and 31 are stacked on the upper and lower sides of a reinforcing plate 32 is used, the drive voltage may be supplied from the  
10 driving circuit 500 to the piezoelectric elements 30 and 31 via support members 11c and 11d formed of a conductive material.

As shown in Figs. 41 and 42, the support member 11c is formed in the shape to branch into two on the side of the  
15 vibrating plate 10, and has an upper end 260 branched to the upper side (near side of the plane of Fig. 41) and a lower end 261 branched to the lower side (far side of the plane of the figure). The upper end 260 is attached by solder or a conductive bonding agent to an electrode 33 formed on the  
20 surface of the piezoelectric element 30, and the lower end 261 is attached by solder or a conductive to an electrode 33 formed on the surface of the piezoelectric element 31. On the other hand, the support member 11d is attached to the reinforcing plate 32, whereby the drive voltage is supplied  
25 from the driving circuit 500 to the piezoelectric elements



30 and 31. In this case, the support members 11c and 11d also serve the function of supporting the vibrating plate 10 and serve the conducting function to the piezoelectric elements 30 and 31, as described above, whereby the construction is simplified, and the driving force can be efficiently transmitted.

While the drive voltage may be supplied from the driving circuit to the piezoelectric elements via the support members formed of the conductive material as described above, the drive voltage may be supplied to the piezoelectric elements by a conductive construction shown in Fig. 43. As shown in the figure, in the conductive construction, the upper and lower surfaces (electrodes 33) of the vibrating plate 10 are clamped by a C-shaped elastic conductive member 280, and wiring is connected from the reinforcing plate 32 to the driving circuit 500. If such an elastic conductive member 280 is used, the drive voltage can be supplied from the driving circuit 500 to the piezoelectric elements 30 and 31 that are stacked on the upper and lower sides even with a simple construction.

As shown in Figs. 44 and 45, a wire 290 may be wound around the vibrating plate 10 so that the drive voltage is supplied to the piezoelectric elements 30 and 31 via the wound wire 290. This can also supply the drive voltage to the piezoelectric elements 30 and 31 with a simple

conductive construction. When the voltage is supplied via the elastic conductive member 280 or the wire 290 as described above, the stacked structure of the vibrating plate 10 may be either a structure in which electrodes are arranged on upper and lower surfaces or a structure in which the reinforcing plates formed of conductors are formed on the upper and lower surfaces. In addition to the vibrating plate having the stacked structure of the piezoelectric elements and the reinforcing plates, the above-described elastic conductive member 280 or the wire 290 can be used when the voltage is supplied to the piezoelectric elements.

#### B. Second Embodiment

Next, a description will be given of a piezoelectric actuator according to the second embodiment of the present invention. In the second embodiment, components common to those of the first embodiment are indicated by the same reference numerals, and a description thereof will be omitted.

As shown in Fig. 46, the piezoelectric actuator according to the second embodiment includes a vibrating plate 310 in place of the vibrating plate 10 of the piezoelectric actuator A1 according to the first embodiment.

As shown in Fig. 47, the vibrating plate 310 has a structure in which piezoelectric elements 30 and 31 are

stacked on upper and lower sides of a reinforcing plate 32 in a manner similar to the vibrating plate 10 in the first embodiment. However, as shown in Fig. 48, the vibrating plate 310 differs from the vibrating plate 10 in that electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d are arranged on the piezoelectric elements 30 and 31. In addition, in the vibrating plate 310, the piezoelectric element 30 (also the piezoelectric element 31 although it is not shown) is divided into four regions, and the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d are arranged on the divided regions, respectively.

A description will be given of a conductive construction for supplying the drive voltage to the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d arranged on the four regions of the piezoelectric element 30 with reference to Fig. 49. As shown in the figure, by switching ON/OFF of a switch (selection unit) 341, a mode for supplying the drive voltage from a power source 340 to all of the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d, and a mode for supplying the drive voltage from the power source 340 to the electrodes 33a and 33d can be switched.

When the switch 341 is turned on, and the mode for supplying the drive voltage to all of the electrodes 33a, 33b, 33c, and 33d is selected, the vibrating plate 310 expands and contracts in the longitudinal direction to cause a longitudinal vibration in a manner similar to the above-

described first embodiment (hereinafter, referred to as a longitudinal vibration mode), as shown in Fig. 50(a). On the other hand, when the switch 341 is turned off, and the mode for supplying the drive voltage only to the electrodes 33a and 33d is selected, the piezoelectric elements 33a and 33d only in the regions to which the drive voltage is applied expand and contract, and the vibrating plate 310 causes a bending vibration in the widthwise direction (vertical direction in the figure) within a plane to which the vibrating plate 310 belongs (hereinafter, referred to as a bending vibration mode), as shown in Fig. 50(b). By switching the switch 341 in this way, the vibration mode of the vibration plate 310 can be selected.

In the piezoelectric actuator according to the second embodiment, the rotor 100 is driven using the vibrating plate 310 that can switch the two vibration modes as described above, and the driving direction of the rotor 100 can be switched by operating the switch 341 to switch the vibration modes. When the longitudinal vibration mode is selected, a leftward driving force in the figure is provided by the longitudinal vibration of the vibrating plate 310 from the abutting part between the rotor 100 and the projection 36, as shown in Fig. 51, whereby the rotor 100 is rotated in a clockwise direction in the figure.

On the other hand, when the bending vibration mode is

selected, an upward driving force in the figure is provided by the bending vibration of the vibrating plate 310 from the abutting part between the rotor 100 and the projection 36, as shown in Fig. 52, whereby the rotor 100 is rotated in a counterclockwise direction in the figure.

In the piezoelectric actuator according to the second embodiment, the rotor 100 can be driven in a normal direction and an opposite direction by switching the switch 341. Since the driving direction is switched by switching the vibration modes of the vibrating plate 310 as described above, there is no need to provide a vibrating plate for each driving direction, and to provide an adjustment mechanism for adjusting the positional relationship between the vibrating plate and the rotor that is an object to be driven. Therefore, the driving direction can be switched between the normal direction and the opposite direction without complicating the construction and increasing the size of the device.

In the piezoelectric actuator according to the second embodiment, various modifications can be made in a manner similar to the above-described first embodiment. For example, a cutout may be provided in the vibrating plate 310 in place of the projection 36 (see Fig. 20). In addition, the end 38 of the support member 11 may be located on a tangent to the projection 36 of the vibrating plate 310 and

the rotor 100 so that the contact state between the projection 36 and the rotor 100 is stabilized (see Fig. 31). Furthermore, a spring member may be provided in addition to the support member 11 so that the vibrating plate 310 is urged toward the rotor 100 by the spring member (see Fig. 35).

### C. Third Embodiment

Next, a description will be given of a piezoelectric actuator according to the third embodiment of the present invention. In the third embodiment, components common to those of the first and second embodiments are indicated by the same reference numerals, and a description thereof will be omitted.

While the vibrating plate is urged toward the rotor 100 by an urging force of the spring member or the support member in the above-described first and second embodiments, the rotor 100 is urged toward the vibrating plate in the third embodiment. A description will be given of this construction with reference to Fig. 53. As shown in the figure, in this embodiment, a rotating shaft 100j of the rotor 100 is supported on one end of an elastic rotating member 550, and the rotating shaft 100j is rotatable around a rotating shaft 550a of the elastic rotating member 550. The elastic rotating member 550 is composed of a rotating

portion 550b of which one end supports the rotating shaft 100j and the other end is rotationally supported around the rotating shaft 550a, and a spring portion 550c extending from the side of the rotating shaft 550a of the rotating portion 550b while being bent thereat. The side surface of the spring portion 550c is supported by a raised pin 551, whereby the rotating portion 550b is urged to rotate in a clockwise direction in the figure. That is, the rotating shaft 100j of the rotor 100 is urged rightward in the figure.

On the other hand, the vibrating plate 10 is, unlike the first embodiment, supported by support members 552 formed of a rigid body at widthwise both ends thereof. The support members 552 support the vibrating plate 10 at the position of a node of vibration when the vibrating plate 10 vibrates, and the position of the vibrating plate 10 and mounting portions 553 of the support members 552 are fixed. By fixing the vibrating plate at the position of the node of vibration, the vibration of the vibrating plate 10 can be stabilized. Even if the vibrating plate 10 is fixedly supported, since the rotor 100 is urged toward the vibrating plate 10, sufficient friction is produced between the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36, whereby the driving force can be transmitted therebetween with higher efficiency.

When the piezoelectric actuator has a gear mechanism

and the like for increasing or decreasing a speed, such as a first gear 555 that is coaxial with the rotor 100, i.e., rotated together with the rotor 100 using the rotating shaft 100j as a rotating shaft, and a second gear 556 meshed with the first gear 555, it is preferable that components be arranged so that the rotating shaft 550a of the elastic rotating member 550, the rotating shaft 100j, and a rotating shaft 556a of the second gear 556 are arranged substantially on the straight line L, as shown in the figure, and that the vibrating plate 10 be arranged so that the projection 36 is located in the direction perpendicular to the line L from the rotating shaft 100j of the rotor 100. This is because, by arranging the components in this way, even if the elastic rotating member 550 is rotated due to variations during mounting, variations in size, and the wear of the contact part, the contact angle between the rotor 100 and the projection 36 does not change very much, whereby a good contact state can be maintained. In addition, when the first gear 555 is rotated, the positional relationship between the first gear 555 and the second gear 556 does not change very much, whereby the driving force can be stably transmitted.

In the above-described construction, when a load applied to the second gear 556 is increased, that is, when a force which tends to rotate the second gear 556 in a



direction opposite to a driving direction that is a counterclockwise direction in the figure is increased, a force which tends to rotate the first gear 555 and the rotor 100 in a clockwise direction is also increased. That is, a force received by the first gear 555 on the right side in the figure at a meshed portion with the second gear 556 is increased. In accordance with the increase, a force which tends to rotate the elastic rotating member 550 for supporting the rotating shaft 100j in a clockwise direction in the figure is increased, whereby the force of the outer peripheral surface of the rotor 100 pressing against the projection 36 is increased. When the force of the outer peripheral surface of the rotor 100 pressing against the projection 36 is increased in this way, the friction between the rotor 100 and the projection 36 is increased, and a torque that can be transmitted from the vibrating plate 10 to the rotor 100 is increased. In this way, in this piezoelectric actuator, the torque can be increased as the load increases. Conversely, when the load is decreased, the friction between the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36 is decreased, but the decrease in the friction makes it possible to drive the rotor 100 with a low power. Therefore, in the piezoelectric actuator according to the third embodiment, the maximum torque can be improved although it can be operated with a low power

consumption during the low-loaded state.

While the rotating shaft 100j of the rotor 100 is movable, and the elastic rotating member 550 urges the rotor 100 toward the vibrating plate 100 in the third embodiment, the rotor 100 may be formed of an elastic body so that the outer peripheral surface of the rotor 100 is pressed toward the vibrating plate 10 by an elastic force of the rotor 100, as shown in Fig. 54. In this case, if the position of the rotating shaft 100j of the rotor 100 is fixed to a position such that the rotor 100 that does not receive the external force, that is, the rotor 100 that is not elastically deformed, is arranged where the outer peripheral surface shown by the two-dot chain line in the figure crosses the projection 36 each other, the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36 are pressed into contact with each other by the elastic force of the rotor 100 which tends to return to the former shape, whereby sufficient friction is produced between the outer peripheral surface of the rotor 100 and the projection 36, and the driving force can be efficiently transmitted. As such an elastic rotor 100, a metallic member can be used as long as it has hollow sections, as shown in the figure.

In addition to the above-described vibrating plate 10, vibrating plates in various forms may be used in the third embodiment in a manner similar to the first embodiment, and

a vibrating plate that is able to select between the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode like the vibrating plate 310 shown in the second embodiment may be used.

5

#### D. Fourth Embodiment

Next, a description will be given of a piezoelectric actuator according to the fourth embodiment of the present invention. In the third embodiment, components common to those of the first to third embodiments are indicated by the same reference numerals, and a description thereof will be omitted.

As shown in Fig. 55, the piezoelectric actuator according to the fourth embodiment has a structure in which one end of the vibrating plate 10 is overlapped on the surface of a disk-like rotor 100. As shown in Fig. 56, the vibrating plate 10 is inclined with respect to the plane of the rotor 100, and a projection 700 projected from the vibrating plate 10 toward the plane of the rotor 100 abuts against the plane of the rotor 100 from an oblique direction.

In this construction, when a voltage is applied to a piezoelectric element of the vibrating plate 10 from a driving circuit (not shown), the vibrating plate 10 causes a longitudinal vibration in the direction shown by the arrow in the figure. When the vibrating plate 10 vibrates in such

a manner as to extend toward the center of the rotor 100 during the longitudinal vibration, the one end 700 is displaced while it is in contact with the plane of the rotor 100, whereby the rotor 100 is rotationally driven in a clockwise direction shown by the arrow in Fig. 55.

The vibrating plate 10 may be provided not only on the front surface of the rotor 100 but also on the back surface of the rotor 100. In addition, as shown in Fig. 57, a projection 710 projected downward from the projection 700 may be provided instead of inclining the vibrating plate 10 with respect to the rotor 100, and the projection 710 may be brought into abutment with the plane of the rotor 100.

In addition to the above-described vibrating plate 10, vibrating plates in various forms may be used in the fourth embodiment in a manner similar to the first embodiment.

Furthermore, a vibrating plate that is able to select the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode may be used so as to switch the driving direction of an object to be driven. In this case, a vibrating plate 580, which vibrates in a manner similar to the above vibrating plate to drive the rotor 100 in the longitudinal vibration mode, and causes a bending vibration in an out-of-plane direction shown in Fig. 58 in the bending vibration mode may be provided, and in the bending vibration mode, the rotor 100 may be driven rightward in the figure that is a

direction opposite to the direction in the longitudinal vibration mode.

When switching the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode in this way, a driving circuit shown in Fig. 59 may be constructed. When a switch 581 is switched between the longitudinal vibration mode and the bending vibration mode as shown in the figure, two stacked piezoelectric elements 30 and 31 vibrate in the same phase in the longitudinal vibration mode, whereby the vibrating plate can be allowed to cause a longitudinal vibration in an in-plane direction, and the piezoelectric elements 30 and 31 vibrate in the opposite phase in the bending vibration mode, whereby the vibrating plate can be allowed to cause a bending vibration in an out-of-plane direction. The arrows in the figure indicate a direction of polarization.

#### E. Modifications

While the piezoelectric actuator rotationally drives the disk-like rotor in the above-described various embodiments, an object to be driven is not limited thereto. For example, the above-described vibrating plate 10 may be brought into abutment with a driving member 660 that is substantially shaped like a rectangular parallelepiped so as to drive the member 660 shaped like a rectangular parallelepiped in the longitudinal direction thereof.

The piezoelectric actuator according to the above-described various embodiments can be used by being incorporated in a portable device other than a timepiece that is driven by a battery, in addition to being  
5 incorporated in the above-described calendar display mechanism of a timepiece.

While a plate-like member is used as the reinforcing plate 32 in the above-described various embodiments, a  
metallic film formed by sputtering and the like may be used  
10 as a reinforcing portion stacked on the piezoelectric element, and any method may be adopted to form the metallic film.

CLAIMS

1. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

5 a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting  
10 portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against an object to be driven;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the  
15 longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

20 2. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 1, wherein the vibrating plate is movably supported by the support member within a plane to which the vibrating plate belongs.

25 3. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

5 a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the  
10 vibrating plate abuts against an object to be driven;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the object to be driven is driven in one direction in accordance with the  
15 displacement of the vibrating plate due to the vibration.

4. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 3, wherein the vibrating plate is rotationally supported by the support member and the elastic member within a plane to  
20 which the vibrating plate belongs.

5. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 2 or Claim 4, wherein, the vibrating plate is supported in such a manner that a force for pressing the object to be driven is  
25 increased when a force which tends to move the vibrating



plate in the direction opposite to the direction in which the object to be driven is driven is applied to the vibrating plate.

5       6. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 2 or Claim 4, wherein the vibrating plate is supported in such a manner that, when a force which tends to move the vibrating plate in the direction opposite to the direction in which the object to be driven is driven is applied to the  
10 vibrating plate, the vibrating plate is moved in the opposite direction.

7. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 6, wherein the end of the vibrating plate  
15 abutting against the object to be driven has a projection, and the projection abuts against the object to be driven.

8. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 6, wherein one peak of the vibrating plate is  
20 cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the object to be driven.

9. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 8, wherein the vibrating plate includes a  
25 portion having a shape such that the thickness thereof

decreases from the other end toward the end abutting against the object to be driven.

10. A piezoelectric actuator as claimed in any one of  
5 Claims 1 to 8, wherein the vibrating plate includes a portion having a shape such that the thickness thereof increases from the other end toward the end abutting against the object to be driven.

10 11. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 8, wherein the reinforcing portion includes an extended part having a thickness smaller than that of the central part of the vibrating plate from the piezoelectric element toward the object to be driven, and extending toward  
15 the object to be driven to abut against the object to be driven.

12. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 11, wherein the fixing portion of the support  
20 member is located in line with a driving direction of the object to be driven.

13. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 12, wherein a longitudinal vibration in which  
25 the vibrating plate expands and contacts in the longitudinal

direction is generated by the vibration of the piezoelectric element, and a bending vibration in which the vibrating plate vibrates in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction is generated by a reaction force received by the vibrating plate from the object to be driven due to the longitudinal vibration.

14. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 13, wherein the resonance frequencies of the longitudinal vibration and the bending vibration generated in the vibrating plate substantially coincide with each other.

15. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 13, wherein the resonance frequency of the bending vibration generated in the vibrating plate is higher than the resonance frequency of the longitudinal vibration generated in the vibrating plate.

16. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 15, wherein the exciting frequency for driving the piezoelectric element is a frequency between the resonance frequency of the longitudinal vibration generated in the vibrating plate and the resonance frequency of the bending vibration generated in the vibrating plate.

17. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 12, wherein a longitudinal vibration in which the vibrating plate expands and contracts in the longitudinal direction is generated by the vibration of the piezoelectric element, and the end of the vibrating plate abutting against the object to be driven is elastically deformed in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction by a reaction force received by the vibrating plate from the object to be driven due to the longitudinal vibration.

18. A piezoelectric actuator comprising:  
a base frame;  
a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis; and  
a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

19. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 18, wherein the vibrating plate is movably supported by the support member within a plane to which the vibrating plate belongs.

20. A piezoelectric actuator comprising:  
a base frame;  
a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the direction of a rotation axis;  
a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and  
an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the

vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

21. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 20, wherein the vibrating plate is rotationally supported by the support member and the elastic member within a plane to which the vibrating plate belongs.

22. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

23. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 22, wherein the vibrating plate is movably supported by the support member within a plane to which the vibrating plate belongs.

24. A piezoelectric actuator comprising:  
a base frame;  
a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame;  
a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;  
and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that the longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor;

wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

25. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 24, wherein the vibrating plate is rotationally supported by the support member and the elastic member within a plane to which the vibrating plate belongs.

26. A piezoelectric actuator comprising:  
a base frame;  
a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
a rotor having an outer peripheral surface, rotationally supported on the base frame, a rotating shaft thereof being movable;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against the longitudinal end of the vibrating plate;



wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

27. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 26, further comprising:

a rotating member for rotationally supporting the rotating shaft of the rotor;

a first gear sharing the rotating shaft with the rotor, and integrally rotated with the rotor; and

a second gear meshing with the first gear;

wherein the center of rotation of the rotating member and the rotating shafts of the rotor and the second gear are arranged substantially on one straight line; and

the abutment position between the rotor and the vibrating plate is located in a direction perpendicular to the straight line from the rotating shaft of the rotor.

28. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 26 or Claim 27, wherein a force of the elastic member for pressing the rotor toward the end of the vibrating plate is increased with an increase in a rotation load of the rotor..

29. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

5 a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame; and

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;

10 wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on a position where the outer peripheral surface thereof abuts against the longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof; and

15 wherein, when the piezoelectric element vibrates in the longitudinal direction of the vibrating plate, the vibrating plate is vibrated by the vibration, and the rotor is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

20 30. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 22 to 29, wherein a concave groove is formed in the outer peripheral surface of the rotor.

25 31. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 23 or

Claim 25, wherein the vibrating plate is supported in such a manner that a force for pressing the object to be driven is increased when a force which tends to move the vibrating plate in the direction opposite to the direction in which  
5 the rotor is driven is applied to the vibrating plate.

32. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 23 or Claim 25, wherein the vibrating plate is supported in such a manner that, when a force which tends to move the vibrating  
10 plate in the direction opposite to the direction in which the rotor is driven is applied to the vibrating plate, the vibrating plate is moved in the opposite direction.

33. A piezoelectric actuator as claimed in any one of  
15 Claims 18 to 32, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor has a projection, and the projection abuts against the rotor.

34. A piezoelectric actuator as claimed in any one of  
20 Claims 18 to 32, wherein one peak of the vibrating plate is cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the rotor.

35. A piezoelectric actuator as claimed in any one of  
25 Claims 18 to 34, wherein the end of the vibrating plate

abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface.

5        36. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 35, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the direction of the rotating shaft of the rotor.

10       37. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 35 or Claim 36, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the widthwise direction of the vibrating plate.

15       38. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 37, wherein the base frame has a single member for supporting both the rotor and the vibrating plate.

20       39. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 38, wherein the vibrating plate includes a portion having a shape such that the thickness thereof decreases from the other end toward the end abutting against the rotor.

25       40. A piezoelectric actuator as claimed in any one of

Claims 18 to 38, wherein the vibrating plate includes a portion having a shape such that the thickness thereof increases from the other end toward the end abutting against the rotor.

5

41. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 38, wherein the reinforcing portion includes an extended part having a thickness smaller than that of the central part of the vibrating plate from the piezoelectric element toward the rotor, and extending toward the rotor to  
10 abut against the rotor.

42. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 41, wherein the fixing portion of the support  
15 member is located in line with a driving direction of the rotor.

43. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 18 to 42, wherein a longitudinal vibration in which  
20 the vibrating plate expands and contracts in the longitudinal direction is generated by the vibration of the piezoelectric element, and a bending vibration in which the vibrating plate vibrates in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction is generated by a reaction force  
25 received by the vibrating plate from the rotor due to the

longitudinal vibration.

44. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 43,  
wherein the resonance frequency of the bending vibration  
5 generated in the vibrating plate is higher than the  
resonance frequency of the longitudinal vibration generated  
in the vibrating plate.

45. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 43,  
10 wherein the resonance frequency of the bending vibration  
generated in the vibrating plate is higher than the  
resonance frequency of the longitudinal vibration generated  
in the vibrating plate.

15 46. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 45,  
wherein the exciting frequency for driving the piezoelectric  
element is a frequency between the resonance frequency of  
the longitudinal vibration generated in the vibrating plate  
and the resonance frequency of the bending vibration  
20 generated in the vibrating plate.

47. A piezoelectric actuator as claimed in any one of  
Claims 18 to 42, wherein a longitudinal vibration in which  
the vibrating plate expands and contracts in the longitudinal  
25 direction is generated by the vibration of the piezoelectric

element, and the end of the vibrating plate abutting against the rotor is elastically deformed in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction by a reaction force received by the vibrating plate from the rotor due to  
5 the longitudinal vibration.

48. A piezoelectric actuator according to any one of Claims 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36,  
10 37, 38, 39, 40, 41, and 42, wherein the mounting portion of the support member is mounted to a plurality of sections in the longitudinal direction of the vibrating plate.

49. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 48,  
15 wherein one of the mounting portions of the support member is mounted at a position of a node of vibration of the vibrating plate.

50. A piezoelectric actuator as claimed in Claims 48  
20 or Claim 49, wherein the position of the mounting portion of the support member substantially coincides with the position of an antinode of vibration of the support member in accordance with the vibration of the vibrating plate.

25 51. A piezoelectric actuator as claimed in any one of

Claims 1 to 47, wherein the mounting portion of the support member is mounted at a position of a node of vibration of the vibrating plate.

5           52. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 51, wherein the position of the mounting portion of the support member substantially coincides with the position of a node of vibration of the support member in accordance with the vibration of the vibrating plate.

10           53. A piezoelectric actuator comprising:

          a base frame;

          a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

15           a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and

20           a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a  
25           longitudinal end of the vibrating plate abuts against an



object to be driven;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the object to be driven is driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the object to be driven is driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

54. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and mounting portion mounted on the vibrating

plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;  
and

an elastic member for providing an elastic force to the  
vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating  
5 plate abuts against an object to be driven;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by  
the selection means, the vibrating plate causes the  
longitudinal vibration, whereby the object to be driven is  
driven in one direction in accordance with the displacement  
10 of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the  
selection means, the vibrating plate causes the bending  
vibration, whereby the object to be driven is driven in the  
direction opposite to the direction during the longitudinal  
15 vibration in accordance with the displacement of the  
vibrating plate due to the vibration.

55. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

20 a vibrating plate in which a longitudinal plate-like  
piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and  
rotationally supported on the base frame in the direction  
perpendicular to the front and back surfaces as the  
25 direction of a rotation axis;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction; and

a support member, which is an elastic member, having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

56. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having front and back surfaces, and rotationally supported on the base frame in the direction perpendicular to the front and back surfaces as the  
5 direction of a rotation axis;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating  
10 plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the out-of-plane direction;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;  
15 and

an elastic member for providing an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the front surface or the back surface of the rotor;

20 wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

25 wherein, when the bending vibration is selected by the

selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

57. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and rotationally supported on the base frame;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and

a support member, which is an elastic member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and which provides an elastic force to the vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating plate abuts against the outer peripheral surface of the rotor;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by

the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

5 wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the  
10 vibrating plate due to the vibration.

58. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like  
15 piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;  
a rotor having an outer peripheral surface, and  
rotationally supported on the base frame;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the  
20 longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane;

a support member having a fixing portion fixed to the  
25 base frame and a mounting portion mounted on the vibrating

plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;  
and

an elastic member for providing an elastic force to the  
vibrating plate so that a longitudinal end of the vibrating  
5 plate abuts against the outer peripheral surface of the  
rotor;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by  
the selection means, the vibrating plate causes the  
longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally  
10 driven in one direction in accordance with the displacement  
of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the  
selection means, the vibrating plate causes the bending  
vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the  
15 direction opposite to the direction during the longitudinal  
vibration in accordance with the displacement of the  
vibrating plate due to the vibration.

59. A piezoelectric actuator comprising:

20 a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like  
piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface,  
rotationally supported on the base frame, a rotating shaft  
25 thereof being movable;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane;

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame; and

an elastic member for providing an elastic force to the rotor so that the outer peripheral surface of the rotor abuts against a longitudinal end of the vibrating plate;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.



60. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 59, further comprising:

a rotating member for rotationally supporting the rotating shaft of the rotor;

5 a first gear sharing the rotating shaft with the rotor, and integrally rotated with the rotor; and

a second gear meshing with the first gear;

wherein the center of rotation of the rotating member and the rotating shafts of the rotor and the second gear are  
10 arranged substantially on one straight line; and

the abutment position between the rotor and the vibrating plate is located in a direction perpendicular to the straight line from the rotating shaft of the rotor.

15 61. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 59 or Claim 60, wherein a force of the elastic member for pressing the rotor toward the end of the vibrating plate is increased with an increase in a rotation load of the rotor.

20 62. A piezoelectric actuator comprising:

a base frame;

a vibrating plate in which a longitudinal plate-like piezoelectric element and a reinforcing portion are stacked;

a rotor having an outer peripheral surface, and  
25 rotationally supported on the base frame;

a selection means for selecting either a longitudinal vibration for vibrating the vibrating plate in the longitudinal direction within a plane to which the vibrating plate belongs, or a bending vibration for vibrating the vibrating plate in the widthwise direction perpendicular to the longitudinal direction within the plane; and

a support member having a fixing portion fixed to the base frame and a mounting portion mounted on the vibrating plate, and supporting the vibrating plate on the base frame;

wherein the rotor is formed of an elastic body arranged on the position where the outer peripheral surface thereof abuts against a longitudinal end of the vibrating plate, and presses the outer peripheral surface against the end of the vibrating plate by the elastic force thereof;

wherein, when the longitudinal vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the longitudinal vibration, whereby the rotor is rotationally driven in one direction in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration, and

wherein, when the bending vibration is selected by the selection means, the vibrating plate causes the bending vibration, whereby the rotor is rotationally driven in the direction opposite to the direction during the longitudinal vibration in accordance with the displacement of the vibrating plate due to the vibration.

63. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 57 to 62, wherein a concave groove is formed in the outer peripheral surface of the rotor.

5

64. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 63, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor has a projection, and the projection abuts against the rotor.

10

65. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 64, wherein one peak of the vibrating plate is cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the rotor.

15

66. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 65, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface.

20

67. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 66, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the direction of the rotating shaft of the rotor.

25

68. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 66 or Claim 67, wherein the end of the vibrating plate abutting against the rotor is formed in the shape of a curved surface as viewed from the widthwise direction of the vibrating plate.

69. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 55 to 68, wherein the base frame has a single member for supporting both the rotor and the vibrating plate.

70. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 53 or Claim 54, wherein the end of the vibrating plate abutting against the object to be driven has a projection, and the projection abuts against the object to be driven.

71. A piezoelectric actuator as claimed in Claim 53 or Claim 54, wherein one peak of the vibrating plate is cut out in a rectangular shape, and the cut out portion of the vibrating plate abuts against the object to be driven.

72. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 71, wherein the reinforcing portion is formed thinner than the piezoelectric element.

73. A piezoelectric actuator as claimed in any one of

Claims 1 to 71, wherein the piezoelectric element has an electrode section arranged on the surface thereof, and

wherein a thickness of the electrode section is 0.5  $\mu\text{m}$  or more, and is smaller than the thickness of the reinforcing portion.

74. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 72, wherein the piezoelectric element has a first electrode section disposed on the longitudinal central part of the vibrating plate, and first non-electrode sections having no electrode provided thereon disposed on longitudinal both ends of the vibrating plate.

75. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 72, wherein the piezoelectric element has a second electrode section disposed on the widthwise central part of the vibrating plate, and second non-electrode sections having no electrode provided thereon disposed on widthwise both ends of the vibrating plate.

76. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 75, wherein the vibrating plate has a plurality of the stacked piezoelectric elements, and

wherein adjacent piezoelectric elements are polarized in the opposite directions.

77. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 75, wherein the vibrating plate has a plurality of the stacked piezoelectric elements, and  
5 wherein adjacent piezoelectric elements are polarized in the same direction.

78. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 77, wherein the reinforcing portion is a  
10 conductor, and is stacked on the upper and the lower sides of the piezoelectric element, respectively, and  
wherein power is supplied to the piezoelectric element via the reinforcing portions stacked on the upper and the lower sides of the piezoelectric element.

15 79. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 78, wherein the support member is a conductor, and  
wherein power is supplied to the piezoelectric element via the support member.  
20

80. A piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 79, further comprising an elastic conductive material contacting the upper and lower surfaces of the  
25 vibrating plate to clamp the vibrating plate;

wherein and power is supplied to the piezoelectric element via the elastic conductive material.

81. A piezoelectric actuator as claimed in any one of  
5 Claims 1 to 79, further comprising a wire wound around the vibrating plate while being in contact therewith;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the wire.

10 82. A piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising reinforcing portions stacked on the upper and lower sides of the  
15 piezoelectric element;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the reinforcing portions.

83. A piezoelectric actuator having a piezoelectric  
20 element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising:

a base frame; and

a support member formed of a conductive material, and  
25 supporting the piezoelectric element on the base frame;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the support member.

5 84. A piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising an elastic conductive material contacting the upper and lower surfaces of the vibrating plate to clamp the vibrating plate;

10 wherein power is supplied to the piezoelectric element via the elastic conductive material.

85. A piezoelectric actuator having a piezoelectric element, and driving an object to be driven by the vibration  
15 of the piezoelectric element;

the piezoelectric actuator comprising a wire wound around the vibrating plate while being in contact therewith;

wherein power is supplied to the piezoelectric element via the wire.

20

86. A timepiece comprising:  
a piezoelectric actuator as claimed in any one of Claims 1 to 85; and

25 a ring-shaped calendar display wheel rotationally driven by the piezoelectric actuator.



87. A portable device comprising:  
a piezoelectric actuator as claimed in any one of  
Claims 1 to 85; and  
5 a battery for supplying power to the piezoelectric  
actuator.

ABSTRACT

A rectangular vibrating plate 10 in which a piezoelectric element and a reinforcing plate are stacked is supported on a main plate by a support member 11, and is urged toward the rotor 100 by an elastic force of the support member 11. This brings a projection 36 provided on the vibrating plate 10 into abutment with an outer peripheral surface of the rotor 100. In this construction, when the vibrating plate 10 vibrates in the horizontal direction in the figure by an applied voltage from a driving circuit (not shown), the rotor 100 is rotated in a clockwise direction in accordance with the displacement of the projection 36 due to the vibration.